



Naturalis

Repositorio Institucional
<http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar>

Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ciencias Naturales y Museo



Caracterización estructural del área Puesto Touquet, Cuenca Neuquina, Argentina

Margueliche, Esteban Roberto

Especialista en Geociencias de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos

Dirección: Franzese, Juan Rafael

Co-dirección: Manceda, René Enrique

Facultad de Ciencias Naturales y Museo
2018

Acceso en:

<http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/id/20190528001674>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional



Naturalis

Repositorio Institucional
FCNyM - UNLP

Caracterización Estructural del Área Puesto Touquet. Cuenca Neuquina, Argentina.

Margueliche, Esteban Roberto

2018



Universidad Nacional de La Plata

Especialización en Geociencias de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos

Caracterización Estructural del Área Puesto Touquet. Cuenca
Neuquina, Argentina.

Autor - Esteban Roberto Margueliche

Director – Juan Rafael Franzese

Co-director – Rene Enrique Manceda

La Plata – 2018

Prefacio

Elegí este tema para la realización y culminación de la especialización, por varias razones, una de ellas fue por la curiosidad de trabajar junto con un profesional tan prestigioso como René Manceda, otra para aprender a utilizar el software de interpretación y finalmente para poder dar una nueva interpretación, con datos duros, a la zona de estudio.

La realización del trabajo fue bastante compleja, debido a varios imponderables, uno la obtención completa de la información, otro la utilización de dicha información sobre el software. Y luego las idas y venidas por la propia inserción al mundo laboral. Todo ello, llevó a un proceso largo y poco llevadero, pero por suerte conté con un co-director siempre atento y predispuesto a mis tiempos y mis consultas, por lo cual me gustaría agradecerle de todo corazón, ya que gracias a él puedo entregar este trabajo, y también comprobar que, aun hay eminencias que pregonan la paciencia y la humildad.

Por otro lado, quiero agradecer a mi familia que me apoyó y ayudó a la realización de esta especialización tan linda y rica en conocimientos.

Siento que es muy importante nombrar y agradecer a mis compañeros de curso, ya que en todo momento conté con su ayuda, tanto para la elaboración de este trabajo como para la realización del curso.

Agradezco a la empresa Pluspetrol, por toda la información abastecida para la realización de este trabajo y para finalizar, quiero agradecer a todos los profesores y colaboradores que me ayudaron a transitar el curso y a realizar este trabajo.

Índice

Resumen

1) Introducción

- i) Ubicación y estratigrafía
- ii) Objetivo
- iii) Antecedentes
- iv) Marco Geológico
- v) Metodología
- vi) Organización y resumen general de la tesina

2) Descripción y procesamiento de datos

- i) Revisión de datos de pozos
- ii) Información sísmica

3) Caracterización estructural del área

- i) Introducción
- ii) Análisis geométricos de las estructuras
- iii) Fases de deformación
- iv) Esquema estructural del Octógono – Puesto Touquet

4) Conclusiones generales

- i) Síntesis de los procesos formulados

5) Propuesta

6) Bibliografía

Resumen

El trabajo se llevó a cabo sobre el bloque petrolero Puesto Tuquet, ubicado en el sector centro-oeste de la Dorsal de Huincul, hacia el oeste de la ciudad de Neuquén, Argentina.

Se realizó la interpretación de datos sísmicos 3D con ayuda de información de pozos, identificando tres estructuras principales y se determinaron los tiempos relativos de su generación, en función de las relaciones estratales entre las formaciones de roca presentes.

La primera de ellas, se encuentra en el sector noroeste (NO) del cubo sísmico, el anticlinal California, que se genera a través de un proceso de inversión tectónica regional, donde se encuentra el yacimiento Puesto Touquet.

La segunda estructura, se aloja en el sector centro-norte del cubo sísmico y también está dada por inversión, en este caso correspondiente a dos fallas normales, preexistentes. Se observa la presencia de estratos de crecimiento, interpretados en base a la relación de los reflectores, asociados a la estructura (*on-lap*, *acuñamientos*, etc), e información proveniente de legajos de pozo.

La tercer estructura de importancia, se ubica en el sector sureste (SE) del cubo, en donde se distingue un claro predominio del basamento por sobre el paquete sedimentario, lo que genera un acuñamiento de la formación Molles, sobre el basamento Precuyano, localizando una particularidad en la cúspide del basamento.

En base a la interpretación de estratos de crecimiento y discordancias en las secciones sísmicas, se han determinado cuatro fases principales, para la caracterización tectónica estructural del área, siendo estas:

Fase 1 Molles Media-Superior (comienza en el Mb Cutral-có y culmina en el Mb Pelítico Superior); 2 Fase Challaco; 3 Fase Quintuco Superior; 4 Fase base del Grupo Neuquén.

1 – Introducción

● Ubicación y estratigrafía

El área de estudio se encuentra en el ambiente tectónico de la Dorsal de Huincul, a unos 7 km al sudeste de la ciudad de Cutral Co y a 60 km al oeste de la ciudad de Neuquén. Conforman una superficie de 138 km² aproximadamente, y comprende al bloque Puesto Touquet. Provincia de Neuquén, Argentina (Fig. 1).

Su estratigrafía se encuentra atravesada por una falla principal y presenta características de una zona invertida, hacia un lado de la falla aparece el basamento a solo cientos de metros de profundidad respecto al nivel del mar y con él un paquete sedimentario correspondiente al grupo Cuyo, culminando discordante con el grupo Neuquén. En tanto hacia el otro lado de la falla, se encuentra al basamento a una profundidad, que consta de miles de metros

respecto del nivel del mar y, suprayacente a este, se presenta un mayor desarrollo formacional (Cuadro 1).

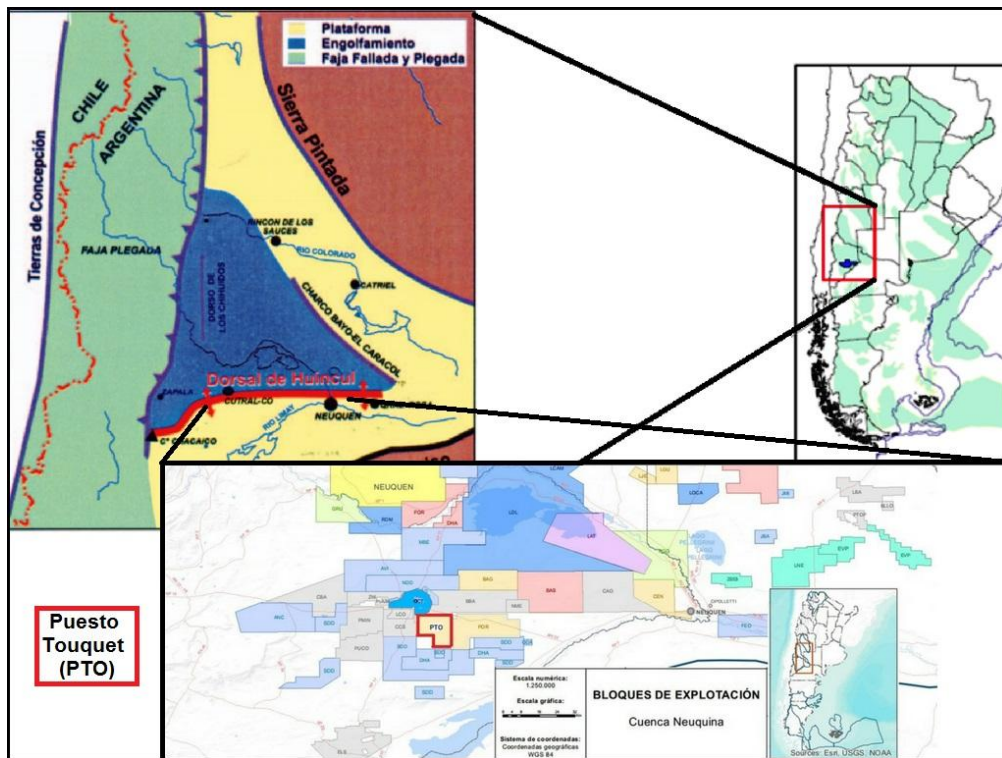
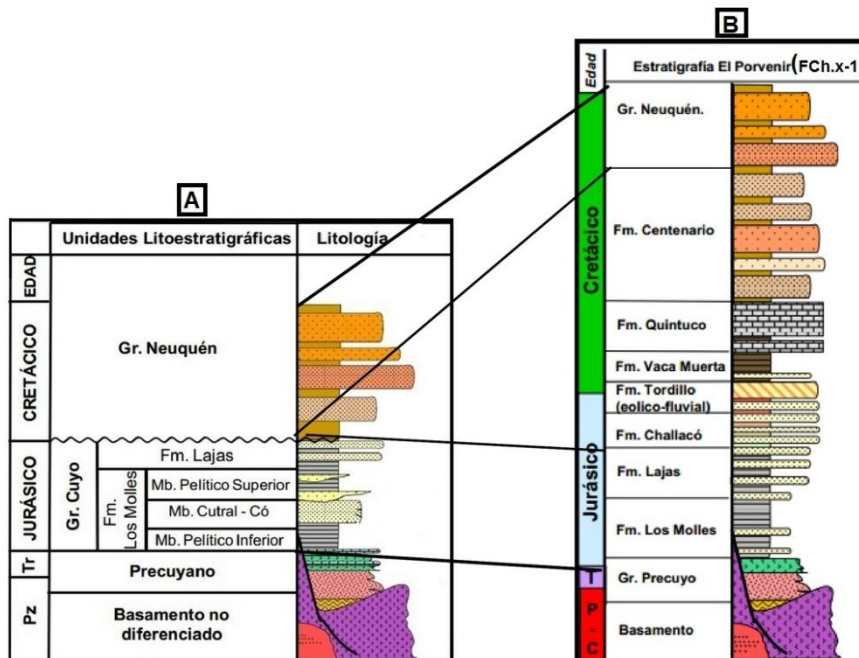


Figura 1: Ubicación geográfica del área de estudio, recuadrado en rojo. Puesto Touquet (PTO)



Cuadro 1: Comparación Litoestratigráfica. A representa la columna tipo del yacimiento Puesto Touquet (Mariana Allo *et al.*, 2014). B representa la columna tipo del bloque El Provenir (Pluspetrol). A: Pozo PTu.x-1 y B Pozo FCh.x-1.

● Objetivo

Este trabajo tiene como objetivo principal generar un modelo estructural del área Puesto Touquet, para luego utilizar este análisis en el estudio de los reservorios fracturados del mismo yacimiento, analizado por la colega Carla Días Torra.

Se realizará el estudio a partir de bibliografía, de datos¹ provenientes fundamentalmente de levantamientos geofísicos, de legajos de pozos exploratorios² y a partir de la interpretación de líneas sísmicas 2D y 3D con la ayuda del software Petrel E&P 2014.

El estudio de este tema, está fundado en la obtención de un cubo de información sísmica y datos de pozos del área de Puesto Touquet - El Porvenir, por parte de la empresa petrolera Pluspetrol³, empresa vinculada a la búsqueda de hidrocarburos.

Cabe señalar que realizar el modelo estructural del área de Puesto Touquet, constituye, además, un modo de ejercitar la metodología de estudio, familiarizarse con el lenguaje de los legajos de pozo y con la utilización del software de aplicación a la información sísmica.

● Antecedentes

El área de estudio, como ya se dijo anteriormente, se encuentra ubicada al sur de la cuenca neuquina, sobre la región morfoestructural (Casadio y Montagna, 2015) Dorsal de Huincul.

La cuenca neuquina está ubicada al este de los Andes en el norte de la Patagonia Argentina. Cubre un área de más de 120.000 km² en el sector occidental del centro del país. Abarca las provincias de Neuquén, La Pampa y Río Negro y parte de Mendoza. Su registro estratigráfico es de 6000 m de espesor e incluye tanto facies continentales como marinas silicoclásticas, volcánicas, y evaporíticas con edades que van desde el Triásico al Paleógeno.

Desde el punto de vista hidrocarburífero es la cuenca más importante del país con el 42% de la producción total de petróleo en la Argentina y el 55% de la producción de gas.

Su historia geológica está marcada por diferentes etapas tectónicas que han sido plasmadas en el registro sedimentario.

Dentro de la vasta bibliografía sobre la Dorsal de Huincul, algunos autores la definen como un rasgo estructural sobresaliente con sentido este-oeste (E-O), que se extiende por más de 250km y está constituida por un tren de estructuras

¹ Fueron cedidos resguardando la confidencialidad de los mismos por medio de acuerdos entre las partes

² Se cuenta con la información de los pozos PTu.x-1, PBi.x-1 y FCh.x-1

³ Empresa petrolera, multinacional, con capitales argentinos.

anticlinales y asimétricas presentando vergencias opuestas (Orchuela *et al.*, 1981).

La interpretación estructural de esta región morfológica fue variando con el tiempo. A finales de la década del '40 (De Ferrari, 1974) se planteaba un modelo de "*Pilar Tectónico*" para poder explicar las estructuras que se hallaban en la Dorsal, basándose en datos de afloramientos, de pozos y de sísmica de pobre calidad, la cual permitía explicar los altos de basamento pero no la génesis estructural del área.

Luego, Orchard, en 1981, (op. cit) publica un modelo estructural, que a los pocos años es actualizado (Plozkiewicz, 1984), presentando un esquema que contemplaba el *movimiento de los bloques en un sistema transcurrente dextral*, logrando resolver las estructuras con geometría de flores negativas o positivas, que estaban relacionadas a fallas de basamento de alto ángulo. Logra explicar que las estructuras anticlinales de orientación general NE se generan a partir convergencias oblicuas y las estructuras con orientación NO corresponden a divergencias oblicuas.

A comienzos de la década de los '90 varios autores proponen un modelo con predominio de *inversión tectónica selectiva de hemigrábenes* orientados en sentido NE, entre estos autores, se mencionan (Eisner, 1991), (Uliana y Lagarreta 1993), (Uliana *et al.* 1995) y (Vergani, 1995) y (Vergani 2005).

En (Pangaro *et al.*, 2006) proponen que el principal disparador para la evolución de las estructuras de la dorsal de Huincul es un evento de deformación compresiva que se prolongó desde el Toarciano Superior hasta el Cretácico Superior y que el mismo no generó inversión tectónica importante. Allí concluyen que el principal control de las estructuras compresivas es la orientación del esfuerzo máximo principal y no la orientación de las estructuras de rift.

A los pocos años de esta última publicación, otros autores (Silvestro *et al.* 2008) informaron sobre un modelo estructural referido a la Dorsal de Huincul. En este último, se agrega una alternativa a los modelos ya existentes sobre el área, afirmando que la geometría y evolución de las estructuras a escala regional es explicada por la convergencia oblicua entre dos zonas de comportamiento mecánico diferente, bajo un campo de esfuerzos NO-SE relacionado a la subducción en el margen Pacífico. Este comportamiento se expresa hacia el sector SE con una zona que actúa como bloque rígido y a manera de contrafuerte; hacia el NO una zona que posibilita la reactivación y desarrollo de estructuras convergentes oblicuas, lo cual concentra la deformación, debido a su corteza continental adelgazada por extensión y debilitada térmicamente. Se logra así, una zona de transición entre las dos unidades corticales diferentes que dan lugar a la Dorsal neuquina.

A partir de lo expuesto en estos trabajos, podemos observar distintas perspectivas sobre una misma región morfológica "Dorsal de Huincul", donde algunos autores proponen, el concepto de pilar tectónico, otros lo resuelven a partir de un sistema de fallas transcurrentes, otros plantean inversiones selectivas a lo largo y ancho de la región y otros sólo en algunos sectores, basándose en la dirección de los esfuerzos principales, para determinados períodos de tiempo.

Focalizándonos en el área de estudio, Yacimiento Puesto Tuquet, ubicada en el sector centro-oeste de la Dorsal de Huincul, conforma una superficie de 138 km², aproximadamente (Fig. 1).

Para el bloque de Puesto Touquet, se ha analizado el trabajo (Mariana Allo *et al.*, 2014), donde se menciona la presencia de una trampa estructural de un pliegue anticlinal con cierre en las cuatro direcciones, que se genera a partir de la inversión tectónica que afecta a la Dorsal de Huincul. Es importante resaltar, debido a qué luego se hará mención, que los autores consideran dos sistemas de fallas, los cuales según su orientación uno está relacionado a la estructura principal y el otro está dado por fallas normales, otorgándole a estas una función de acomodación del pliegue anticlinal.

En otro trabajo, referido al área (Hyung Joo Kim *et al.*, 2014) se plantean como modelo estructural, la conformación de estructuras anticlinales a partir de la edad Triásico - Jurasico temprano. Adjudican una primera inversión tectónica durante el Toarciano superior.

Ambos trabajos se basaron en la misma base de datos de la cual se nutrió y desarrolló este estudio.

● Marco Geológico

Debido a que, la ubicación de la zona de estudio está dada en la Dorsal de Huincul, a la intención de caracterizarla estructuralmente y a utilizar este análisis en el estudio de reservorios fracturados del yacimiento, se juzgó de importancia remarcar la variación del campo de esfuerzos a través del tiempo, que inciden sobre dicha región morfoestructural y por consiguiente a la zona de estudios, Puesto Touquet, ubicada en el sector occidental del sistema de Huincul.

Según (Mosquera *et al.*, 2006), la evolución tectónica de la dorsal de Huincul estuvo intervenida por dos factores, una dinámica del margen convergente pacífico y las anisotropías del basamento. Estas anisotropías controlaron fuertemente la orientación y estilos estructurales de la deformación de intraplaca, y las variaciones en la dinámica del margen convergente precisaron la duración de tres ciclos de deformación en la dorsal neuquina.

Estos tres ciclos de deformación, precisados por las variaciones del esfuerzo predominante de convergencia, son descriptos de la siguiente manera:

1. *Aluk* :

- i) **Inicial**: En esta etapa, la deformación correspondiente al vector de esfuerzos principal σ_1 , estuvo caracterizada por un campo regional asociado a una dirección NO-NNO (Mosquera & Ramos, 2006; Silvestro & Zubiri, 2008) (Fig. 2), su máxima expansión fue durante el Jurásico inferior, se produjo durante (*Toarciano – Valanginiano*) y abarcó desde la cordillera de la Costa en Chile hasta el límite oriental del engolfamiento neuquino (generando un cordón de 300 km en dirección E-O y 100 km en dirección N-S). Esto provocó que se reactivaran una

serie de corrimientos pérmicos (Gondwanides) junto con otros depocentros extensionales de edad Triásica tardía a Jurásica temprana (Mosquera & Ramos et al., 2006).

Para este vector de esfuerzos, (Silvestro *et al.*, 2008) exponen que la deformación se concentró en la sutura de los terrenos de Patagonia y Gondwana occidental. Los cuales constituyen dos terrenos con basamentos muy distintos, uno es un bloque fijo y rígido, ubicado al SE que corresponde a la microplaca de Patagonia y denominado Macizo Norpatagónico. En tanto, el otro es un bloque ubicado al NO con una corteza altamente anisótropa, que es producto de múltiples eventos colisionales paleozoicos (Mosquera, 2008), con una corteza adelgazada por extensión y debilitada térmicamente, correspondiente a Gondwana occidental.

El proceso señalado, generó que el Macizo actúe como contrafuerte propagando la deformación, generada por el esfuerzo, hacia la parte exterior del sistema. Este logró reactivar en forma selectiva depocentros extensionales y corrimientos gondwánides.

La deformación en la dorsal de Huincul generó cuatro segmentos con dominios estructurales de características bien distinguidas. (Fig. 3).

- El sector occidental se caracteriza por el desarrollo de fallas inversas de rumbo NE, el cual resulta ortogonal al campo de esfuerzos mesozoico del estadio Aluk. En este sector se ubica nuestra zona de estudio.
- El sector central está caracterizado por el desarrollo de estructuras mayormente compresivas producto de la inversión tectónica oblicua de hemigrabenes precuyano (Silvestro & Zubiri, 2008), generados por el colapso extensional de los corrimientos pérmicos.
- En el sector oriental se desarrollaron estructuras transpresivas de orientación NO.
- En el sector norte solo se generaron estructuras transcurrentes.⁴

Si bien estos autores, hacen referencia al término “transpresivo”⁵ para referirse a un tipo estructuras presentes en la región de estudio, cabe señalar que según el criterio que se utiliza en el presente trabajo debe referirse a estas estructuras como “estructuras convergentes oblicuas” (para mayor desarrollo de la terminología se recomienda leer Marrett & Peacock. *Journal of Structural Geology* 21, 1999. P 1059).

- ii) **Tardío:** Ocurre durante (*Valanginiano-Albiano*) al producirse una reducción del área de deformación y un descenso en la actividad tectónica (Mosquera *et. al.*, 2011), sin embargo los esfuerzos σ_1 continuaban en el cuadrante NO.

⁴ Se utiliza el término transcurrentia, porque hay deformación lateral con basamento involucrado en la deformación.

⁵ Los términos transtension y transpresion, son términos referidos a esfuerzo no a deformación. Términos equivalentes para la deformación, referidos a estos esfuerzos, como extensión oblicua/contracción oblicua o divergencia oblicua/ convergencia oblicua, son más apropiados.”

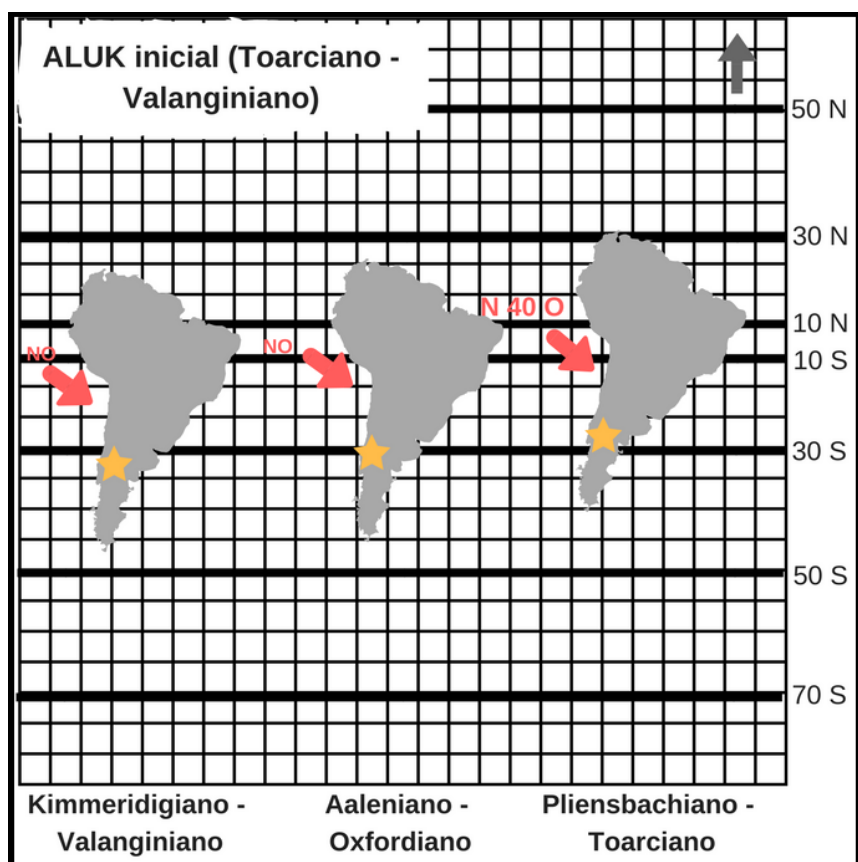


Figura 2: Orientación NO – NNO del Vector de convergencia para el Ciclo de Aluk inicial, correspondiente al (Toarciano – Valanginiano)

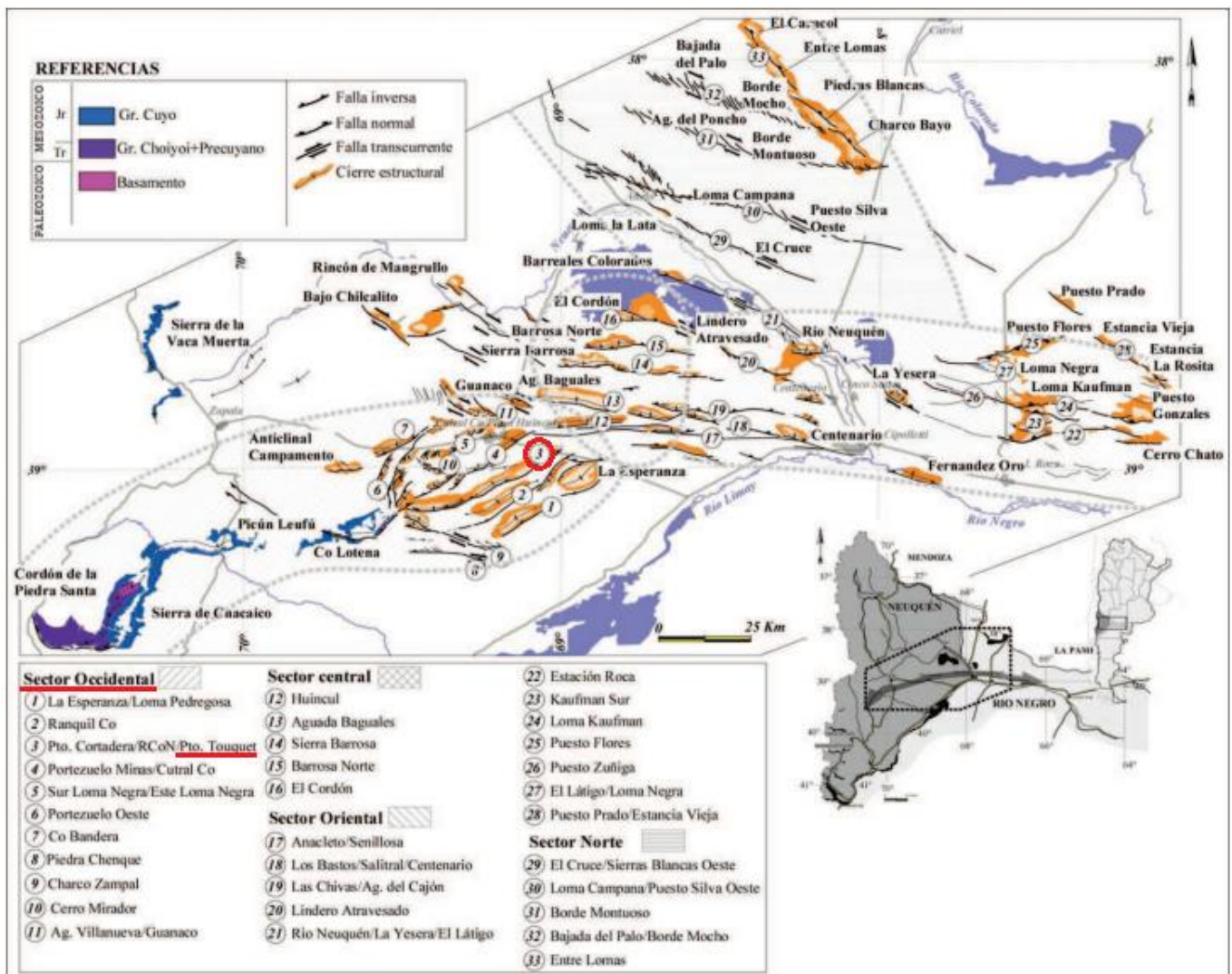


Figura 3: Lineamientos estructurales principales de subsuelo y afloramientos relacionados a la dorsal de Huincul. División de los diferentes dominios estructurales según (Silvestro & Zubiri 2008)

2. Farallon:

En este ciclo, el vector σ_1 presentaba una orientación ONO – ESE (A. Folguera & V. Ramos, 2002), ocurrió durante el Cretácico Superior (*Cenomaniano – Maastrichtiano*), es una rotación antihoraria del esfuerzo principal que generó deformación en el sector central y en el occidental de la dorsal de Huincul (Fig. 4). En el sector occidental se emplaza el bloque Puesto Toquet, correspondiente a la zona de estudio.

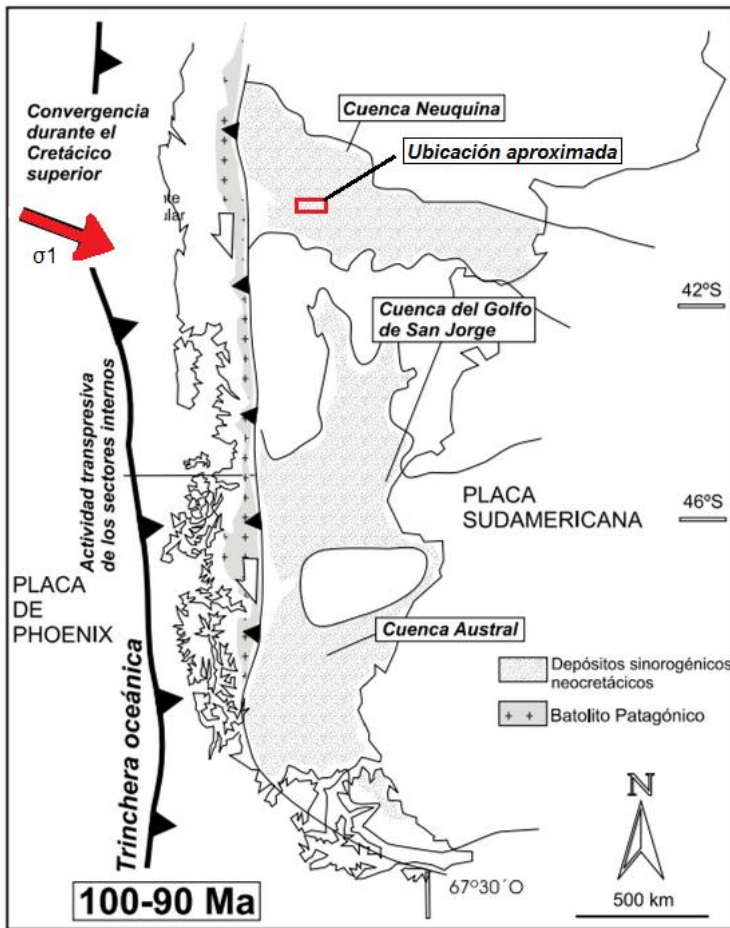


Figura 4: Mapa de la parte sur de la placa Sudamericana, donde se observa la dirección del Vector de convergencia ONO, se reflejan los principales rasgos de la deformación andina durante el Cretácico inferior más alto y el Cretácico superior. Modificado de (Folguera & Ramos 2002).

3. Nazca:

En este ciclo, el vector σ_1 presentaba una orientación OSO (Fig. 5), se generó durante la deformación del período Terciario, marcado por dos eventos importantes. El primero compresional, durante la época Miocena, relacionada al levantamiento de la cordillera, que dio origen a la Faja Plegada y Corrida del Agrio, y a su vez se produjo una exhumación del sector occidental de la dorsal y la reactivación de las estructuras del sector central. El segundo evento, fue extensional debido a una ventana cortical en la zona de subducción, durante el Oligoceno y el Plioceno, el cual generó el colapso extensional de las estructuras del sector central, evidenciado por el desarrollo de la Fosa de Loncopué.

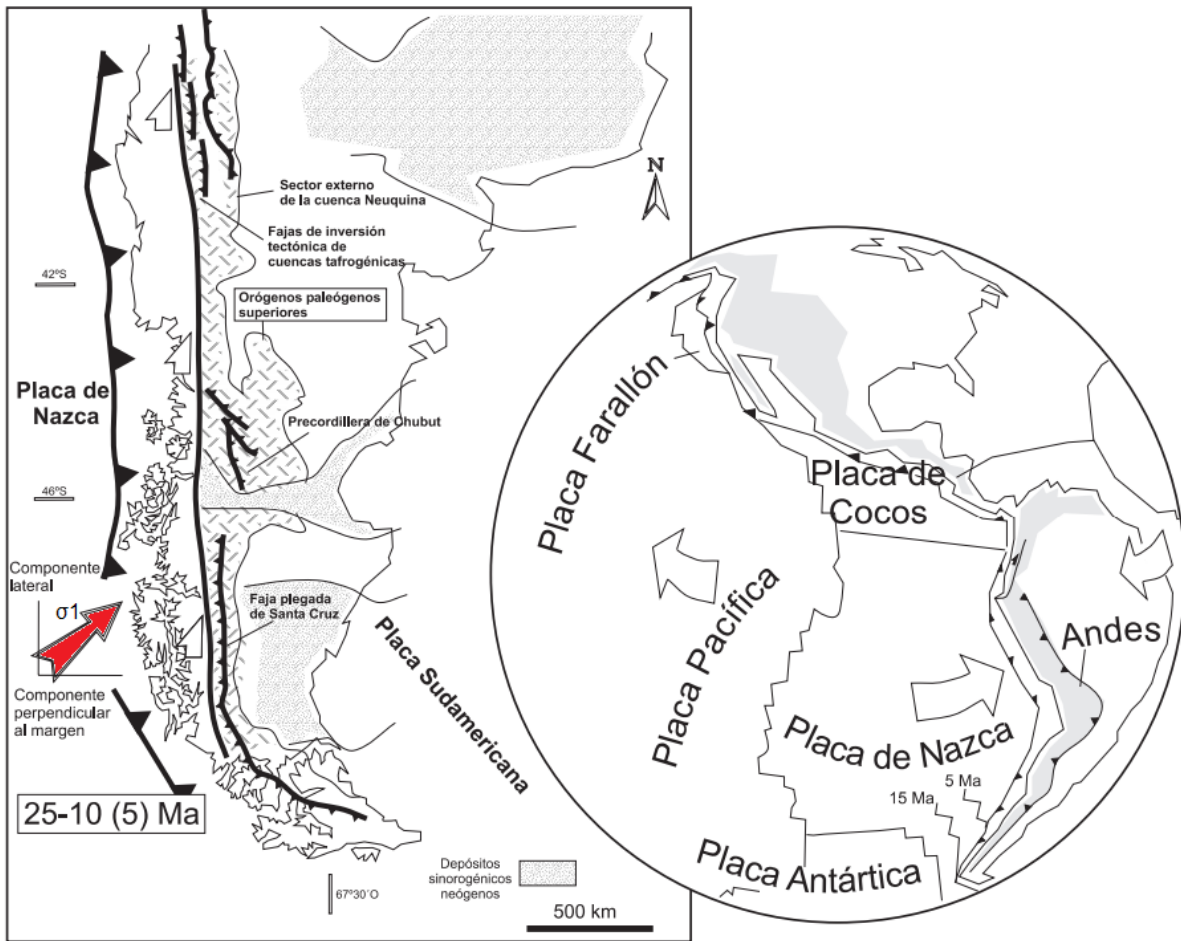


Figura 5: Mapa de la parte sur de la placa Sudamericana, donde se observa la dirección del Vector de convergencia ONO y los movimientos relativos de las placas litosféricas para ese tiempo geológico. Modificado de (Folguera & Ramos 2002).

● Metodología

La bibliografía a considerar fue adoptada a partir de un *corpus* bibliográfico aportado por los directores del trabajo, del cual se seleccionaron aquellas ilustraciones más adecuadas, según el área de estudio y/o contenido.

Se vuelcan sobre el análisis, aquellos trabajos que muestran distintos modelos estructurales que explican la generación de la Dorsal de Huincul, teniendo en cuenta que con el correr del tiempo, se generaron mejores tecnologías para la obtención de información más detallada.

Luego se continuó con la lectura y revisión de la información de tres sondeos correspondientes al área de estudio, Puesto Touquet N°1 (PTu.x-1), Puesto Billar N°1 (PBi.x-1), Fosa de Challacó N°1 (FCh.x-1). Se recurrió también, al apoyo de información de otros dos nuevos sondeos, para corroborar interpretaciones del trabajo, siendo estos, Fosa de Challacó N° 1001 (FCb.x-1001) y Fosa de Challacó N° 1002 (FCs.x-1002).

Estos pozos se realizaron con distintos objetivos, en diferentes épocas, por distintas empresas y con el empleo de distintas tecnologías.

Posteriormente, se seleccionaron secciones sísmicas, pertenecientes al cubo de información y fueron descriptas a modo introductorio, con el objetivo de obtener una mejor interpretación de las respuestas sísmicas.

Luego se caracterizó estructuralmente al área, interpretando las secciones sísmicas del cubo de información, con el soporte de la información de legajos de pozo y utilizando el software Petrel* (Schlumberger).

Se apoya esta interpretación con el modelo estructural del bloque petrolero Octógono Fiscal, adyacente a nuestra zona de interés, para finalmente llegar a una conclusión que efectúa una síntesis de los procesos formulados durante la historia geológica de la zona de estudio.

● Organización y resumen general

En primer lugar se analizaron los antecedentes del territorio y el marco geológico de la región morfoestructural, establecida por distintos autores a lo largo de la historia de estudio de la Dorsal de Huincul. Aquí se sistematizaron los múltiples modelos propuestos para la región, dando cuenta de los estudios más significativos desde el punto de vista estructural, y mostrando los avances de la información a través del tiempo por medio de un avance tecnológico significativo.

Luego, se explica la metodología de estudio y se muestra de manera resumida la organización general del trabajo.

En segundo lugar, para adquirir mayor confiabilidad en los datos, se analizaron las herramientas disponibles para estudiar el área, los legajos de cada pozo y el cubo de información sísmica.

Se seleccionaron secciones sísmicas de relevancia para el análisis estructural del área, y luego se llevó a cabo una observación detallada de dichas secciones sísmicas, para lograr precisar el objetivo del trabajo.

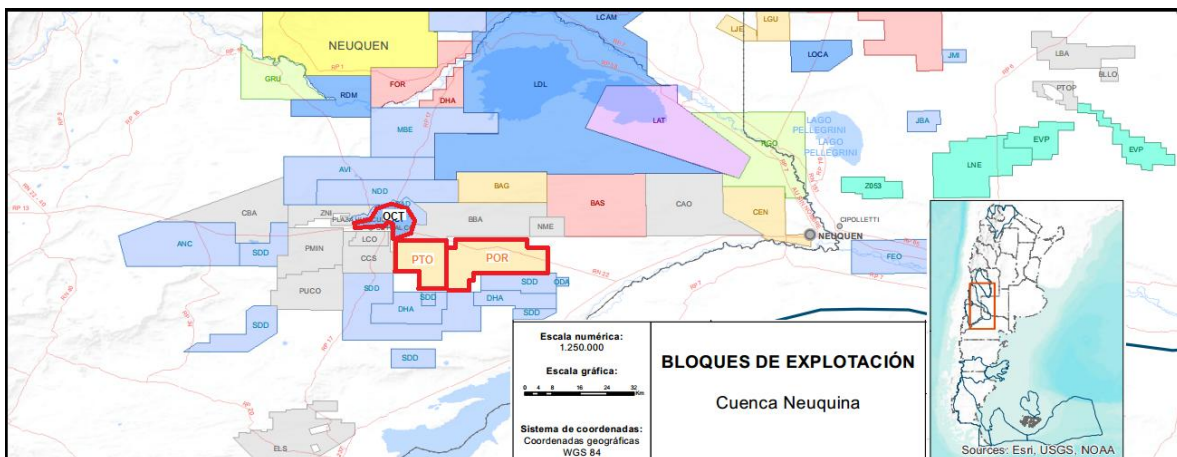
En tercer lugar, se realizó la caracterización estructural del bloque petrolero, mediante la interpretación de las descripciones realizada anteriormente, junto con el apoyo de la información de pozos y utilizando el software Petrel* (Schlumberger).

Se utilizó también, la interpretación estructural del bloque Octógono Fiscal, contiguo al bloque Puesto Touquet, para la conformación del modelo estructural del presente trabajo.

Finalmente se llevó a cabo un análisis entre los distintos enfoques previos, interpretando la información de base y planteando las diferencias encontradas, para concluir con una posible síntesis de la historia geológica, logrando así, la caracterización tectónica estructural de la zona de estudio.

2 - Descripción y Procesamiento de datos

Se utilizó de manera complementaria, información del Bloque El Porvenir y del Bloque Octógono Fiscal, dos bloques adyacentes a la zona de estudio (Fig. 6), para una mejor caracterización de la zona de estudio.



- **Revisión de datos de pozos**

A lo largo del tramo del sondeo, se realizó la extracción de varios testigos corona y testigos laterales, cuatro de las primeras fueron referidas al Nivel A⁶, siendo este el de mayor interés económico. En el siguiente cuadro (Cuadro 2) se observan las

17

formaciones atravesadas, con la profundidad de sus topes y respectivos espesores.

Formaciones atravesadas	Techo		Espesor (m)
	mbbp.	msnm	
Gr. Neuquén + Fm. Centenario	Superficie	(+ 584)	(+230)
Fm. Lajas	230	(+ 354)	73
Fm. Los Molles	303	(+281)	1092
Mb. Pelítico Superior	303	(+281)	242
"Nivel A"	545	(+39)	495
Mb. Pelítico Inferior	1040	(-456)	355
Fm. Chacaicó + Gr. Choiyoi	1395	(-811)	(+663)

Cuadro 2 - Formaciones atravesadas por el pozo PTu.x-1

A partir de las formaciones atravesadas, y desde el punto de vista estructural, es de llamativa importancia la posición suprayacente del grupo Neuquén sobre la formación Lajas, teniendo en cuenta que las edades de depositación de cada una de estas, Cenomaniano Inferior - Campaniano Medio (Garrido, 2010) y Aaleniano – Calloviano temprano (Arregui, 2011) respectivamente, denotan la falta de un gran registro sedimentario entre estos cuerpos de roca.

2) Pozo Puesto Billar N°1 (PBi.x-1)

Este fue un pozo exploratorio estéril, en la zona de Puesto Billar, ubicado al NNO del Pozo PTu.x-1, también realizado por la empresa nacional YPF, en el año 1988. Según los registros, se perforó con varios objetivos exploratorios, entre ellos, encontrar acumulaciones en trampas combinadas, referidas a truncaciones erosivas de los paquetes arenosos con la discordancia Intramálmica.

En los estudios para la perforación se tuvieron en cuenta los análisis de la información geofísica, en donde se señala a la zona como afectada por fallas inversas de alto ángulo, encontrando resaltos estructurales de hasta 800 m.

Se analiza luego, que como consecuencia del efecto combinado entre el alzamiento vertical producido por la compresión y la posterior erosión de los bloques altos, se generaría un biselamiento de la secuencia cuyana, produciendo truncaciones erosivas contra la base de la formación Vaca Muerta y la base del grupo Neuquén. Esta interpretación se centra en la generación de trampas combinadas en los niveles arenosos del grupo Cuyo. La perforación alcanzó los 2100 m.b.b.p. y se han perforado dos tramos con Testigo Corona, ambos, sobre el miembro Cutral Co, correspondiente a la formación Los Molles.

En el siguiente cuadro (Cuadro 3) se observan las formaciones atravesadas, con la profundidad de sus topes y respectivos espesores.

Formaciones atravesadas	Techo		Espesor (m)
	mbbp.	msnm	
Gr. Neuquén	Superficie	(+616)	(+252)
Fm. Vaca Muerta	252	(+364)	20
Fm. Lajas	272	(+344)	110
Fm. Los Molles	-----	-----	-----
Mb. Pelítico Superior	382	(+234)	563
Mb. Cutral Co	945	(-329)	696
Mb. Pelítico Inferior	1641	(-1025)	464,7

Cuadro 3 – Formaciones atravesadas por el Pozo PBi.x-1.

3) Pozo Fosa de Challacó N°1 (FCh.x-1)

Este sondeo fue realizado en una zona denominada Fosa de Challacó (Fig.12). La exploración estuvo a cargo de la empresa Pluspetrol en el año 2012 y alcanzó una profundidad total de 3753 m.b.b.p.

Está ubicado hacia un rumbo ESE respecto del Pozo PTu.x-1 y su objetivo fue evaluar el eventual contenido de gas y condensado en areniscas del miembro Cutral Co de la formación Los Molles.

La estratigrafía atravesada por este sondeo es mucho mayor y más espesa respecto a las anteriormente nombradas, encontrándose un mayor desarrollo formacional (Cuadro 4).

Formaciones atravezadas	Techo		Espesor (m)
	mbbp.	TVDSS	
Gr. Neuquén	Superficie	(+443.17)	380
Fm. Centenario	380	(+63.17)	275
Fm. Quintuco Superior	655	(-211.83)	245
Fm. Quintuco Inferior	900	(-456.83)	170
Fm. Vaca Muerta	1070	(-626.83)	90
Fm. Tordillo	1160	(-716.83)	105
Fm. Challacó	1265	(-821.83)	395
Fm. Lajas	1660	(-1216.83)	565
Tope de Fm. Los Molles	<u>2225</u>	<u>(-1781.83)</u>	-----
Mb. Pelítico Superior	2225	(-1781.83)	1210
Tope de Mb. Cutral Co	3435	(-2991.83)	285
Base de Mb. Cutral Co	3720	(-3276.83)	-----
Profundidad Final (TD)	3750		

Cuadro 4 – Formaciones atravesadas por el Pozo FCh.x-1.

Los siguientes pozos, fueron utilizados de apoyo para lograr mejores interpretaciones en la caracterización estructural de la zona de estudio.

4) Pozo Fosa de Challacó b N° 1001 (FCb.x-1001)

La estratigrafía que atraviesa este sondeo, tiene un gran desarrollo sedimentario, muy similar a la atravesada por el sondeo FCh.x-1. Está ubicado en el Bloque El Porvenir, en dirección NE, respecto al pozo FCh.x-1.

Una diferencia importante que se observa es la profundidad a la que encontramos el grupo Precuyo (Cuadro 5).

Formaciones atravesadas	Techo	
	mbbp.	TVDSS
Fm. Centenario	310	85
Fm. Centenario Inferior	469	(-73)
Fm. Quintuco Superior	642	(-246)
Fm. Quintuco Inferior	813	(-417)
Fm. Vaca Muerta	956	(-560)
Fm. Tordillo	1055	(-660)
Fm. Challacó	1089	(-693)
Fm. Lajas	1170	(-775)
Mb Pelítico Superior	1861	(-1466)
Mb Cutral Co	2096	(-1700)
Mb Pelítico Inferior	2448	(-2053)
Gr. Precuyo	2519	(-2123)
Profundidad Final (TD)	2779	(-2384)

Cuadro 5– Formaciones atravesadas por el Pozo FCB.x-1001

5) Pozo Fosa de Challacó sur N° 1002 (FCs.x-1002)

Este sondeo está ubicado en dirección SE, respecto al pozo FCh.x-1. La estratigrafía es muy similar hacia la parte media y superior de la columna atravesada, no así en el sector basal, debido a que en este sondeo no se atraviesa la formación Los Molles. Luego de atravesar la formación Lajas, encontramos subyaciendo el grupo Precuyo, a la mitad de profundidad que se lo descubre en los otros sondeos (cuadro 6).

Formaciones atravesadas	Techo	
	mbbp.	TVDSS
Fm. Centenario	376	78
Fm. Centenario Inferior	487,4	(-33,4)
Fm. Quintuco Superior	639,2	(-185,2)
Fm. Quintuco Inferior	820,1	(-366,1)
Fm. Vaca Muerta	959,4	(-505,4)
Fm. Tordillo	1081,1	(-627,1)
Fm. Challacó	1092,5	(-638,5)
Fm. Lajas	1139,9	(-685,9)
Gr. Precuyo	1409	(-955,0)

Cuadro 6 - Formaciones atravesadas por el Pozo FCs.x-1002

Mediante la lectura de estos legajos de pozos, de manera general, lo primero que se puede observar son las diferencias entre los paquetes formacionales atravesados por cada uno de los sondeos, siendo que en el Pozo PTu.x-1 se

encuentra al Grupo Cuyo (Jurásico inferior) inmediatamente por debajo de la Fm Centenario (Cretácico Superior), luego en el pozo ubicado en Puesto Billar, hacia el NNO, respecto al anterior, se atraviesa, en medio de las unidades antes nombradas, solamente a la Fm Vaca Muerta.

En cambio, en los pozos ubicados en la Fosa de Challacó, se registra un gran paquete sedimentario, conformado por una buena parte del registro geológico documentado para la región (Cuadro 1).

Luego, en el pozo FCh.x-1 se observa un gran espesor en el miembro superior de la formación Los Molles, mientras que en las estructuras que limitan la Fosa de Challacó, este espesor es menor.

Esta diferencia notable entre los registros de perforación, sumado a las variaciones en las respuestas sísmicas, se debe a la complejidad geológica y estructural que posee el área.

● Información Sísmica

En este trabajo se utilizó información sísmica proveniente de un Merge⁷ (Fig. 7), generado por datos que fueron obtenidos en distintos años y por distintas campañas de adquisición, para luego ser ensamblados en el año 2001, por la empresa petrolera Pluspetrol.

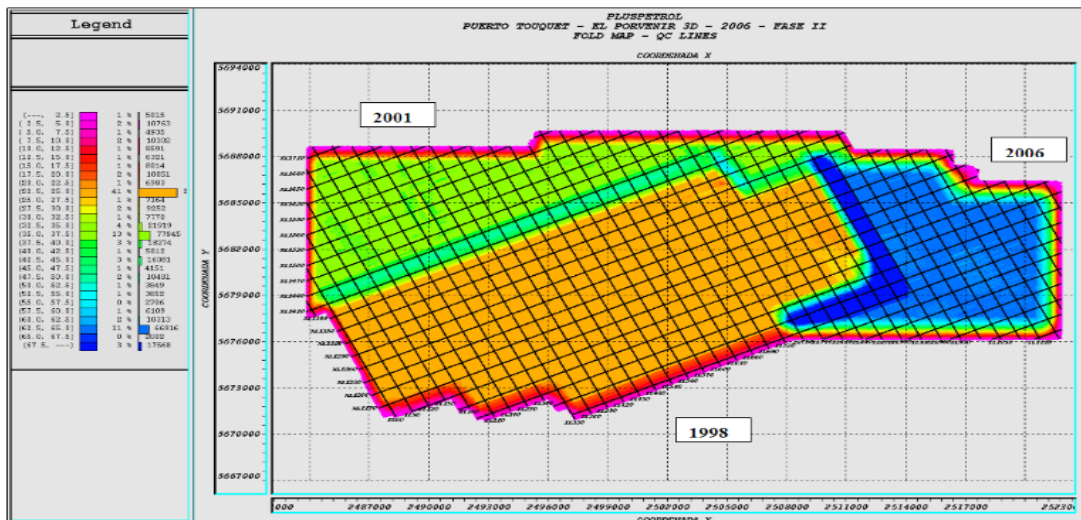


Figura 7: Merge Puesto Touquet – El Porvenir. Muestra en colores las distintas campañas de adquisición que se realizaron para la obtención de un procesamiento 3D mas completo.

Luego, sobre la conformación de este cubo, junto con la ayuda de los topos formacionales abastecidos por los pozos y el apoyo de la vasta bibliografía de la

⁷ Merge: Combinación de información sísmica, generada cada una de ellas, por distintas campañas de adquisición.

zona, se realizó a modo introductorio una observación de cada una de estas. Para luego, desarrollar una caracterización estructural del área, con la interpretación de las mismas.

Observación y análisis de las secciones sísmicas seleccionadas

Fueron seleccionadas aquellas secciones que muestran las estructuras de mayor interés y que presentan las relaciones estratales más relevantes para la cumplimiento del objetivo del trabajo.

A partir de la ubicación de los pozos PTu-x.1, PBi.x-1 y FCh.x.1 en el cubo de información sísmica (Fig. 8) y (Fig. 9), comenzamos la interpretación de los topes formacionales.

Se observaron y luego se interpretaron las líneas sísmicas “*cross-line*” (Fig. 9), de orientación SW – NE.

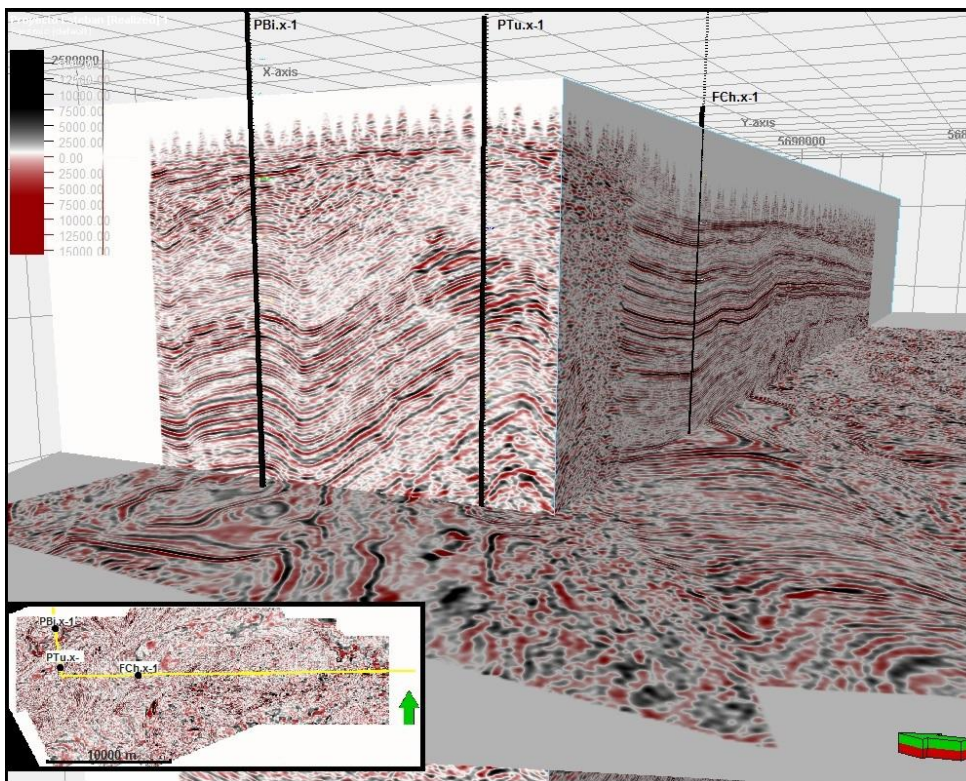


Figura 8. Observación de la información sísmica en la ubicación de los pozos, a partir de una *línea de interpretación compuesta*.

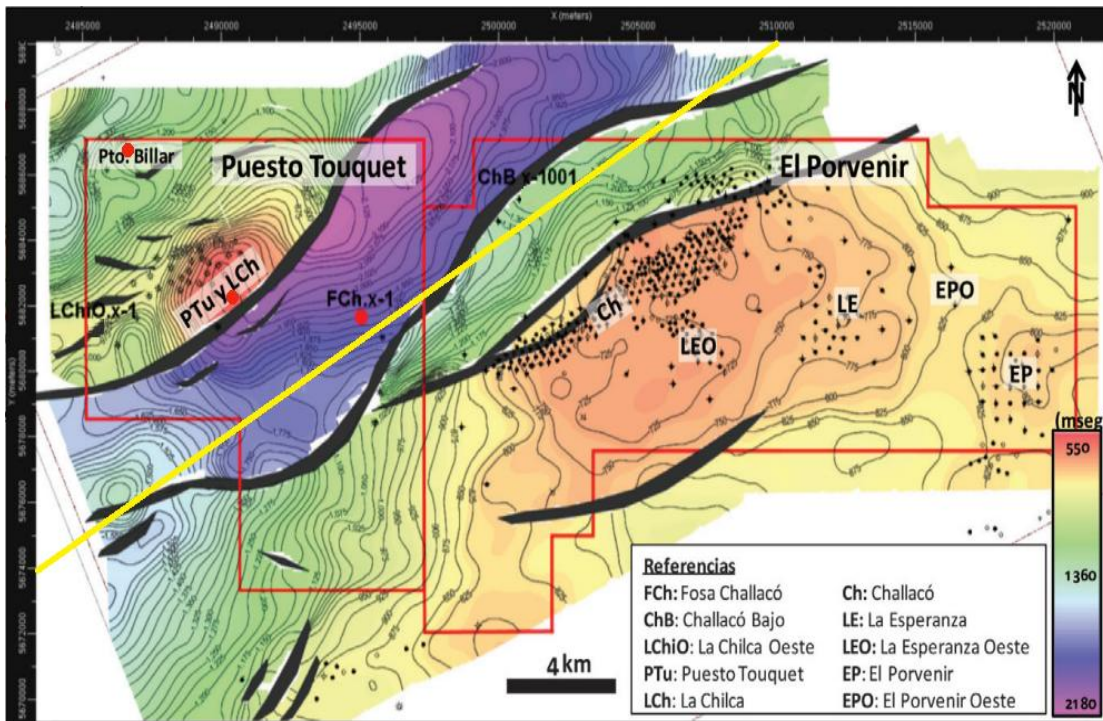


Figura 9: Mapa en tiempo al techo de grupo Precuyo, La línea amarilla muestra la orientación de las líneas sísmicas Cross-line (XL). Ubicación de los pozos PBi.x-1, PTu.x-1 y FCh.x-1. Hyung Joo Kim *et al.*, 2014. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. 2014, p 72.

La observación de las secciones sísmicas seleccionadas comenzó por el sector más septentrional del cubo de información.

- 1) En la respuesta sísmica se muestra el *plunge* norte de la estructura de Puesto Touquet en una dirección NE-SO, donde fue perforado el sondeo PBi x-1 (Fig. 10), se observa que los reflectores de la parte media y superior de la imagen muestran un aspecto continuo y en el sector inferior, aparecen dispuestos de manera discontinua e irregular.

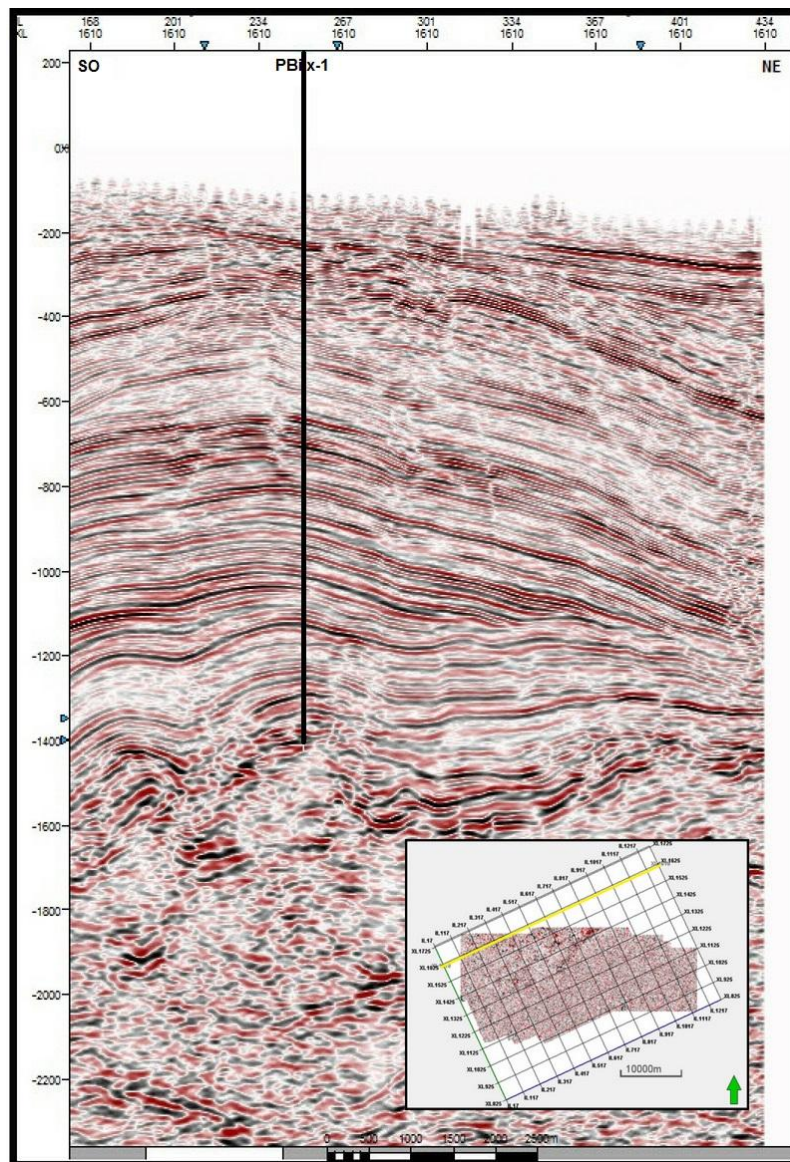


Figura 10: Sección sísmica, donde se observa el Pozo PBi.x-1, atravesando un gran paquete sedimentario plegado.

- 2) Hacia el sector SE se encuentra la cúspide de la estructura de Puesto Touquet. En la línea sísmica de la Fig. 11, cuya orientación es NE-SO se puede observar la estructura donde los reflectores son transparentes y con poca información en la parte superior, lo que no permite visualizar las discordancia en ese nivel, una parte media con amplitudes mayores pero con reflectores algo discontinuos y una parte inferior muy caótica. El pozo PTu x-1 perforado en esta estructura, encuentra el basamento a poca profundidad coincidentemente con la zona de reflectores caóticos.

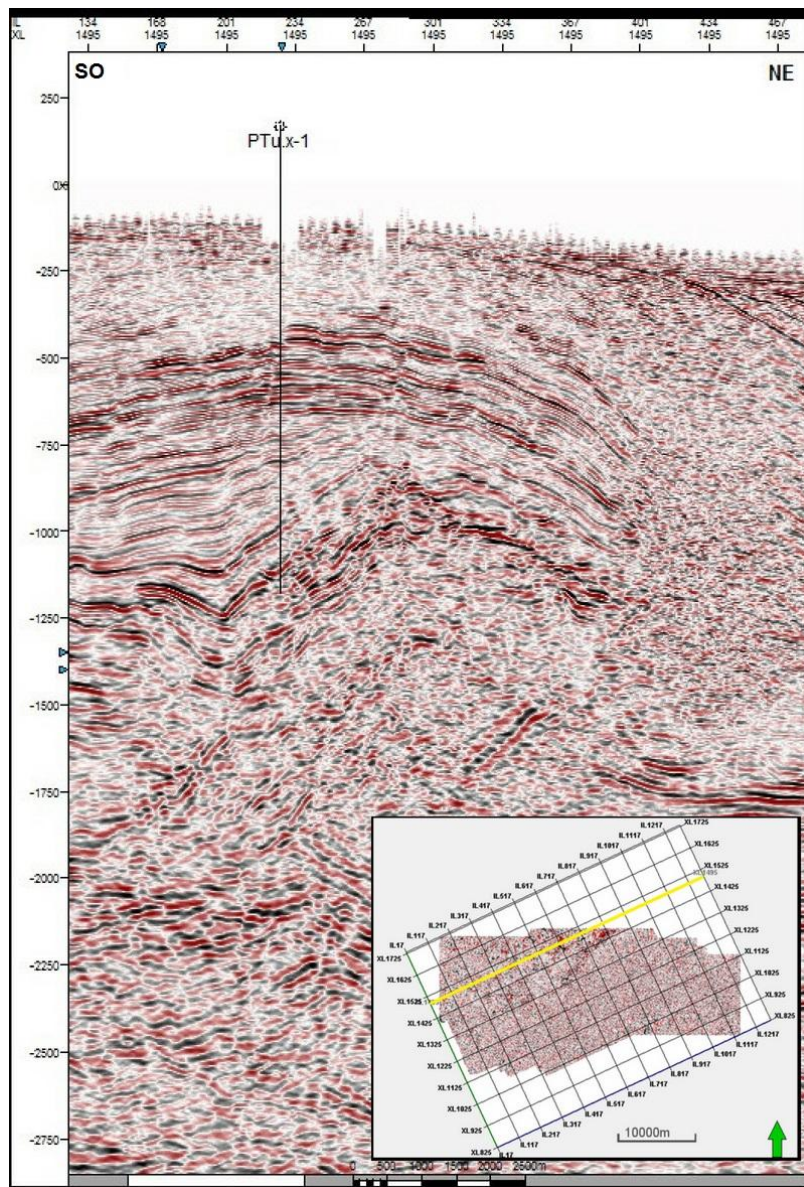


Figura 11: Perforado en la estructura de Puesto Touquet plegado.

- 3) Se continua la observación hacia el sector SE, evidenciando que los reflectores más profundos se encuentran cortados por una falla, cuyo *tip line* se encuentra en el basamento sin involucrar los reflectores someros, correspondientes a las unidades sedimentarias cuya respuesta fue plegarse ante la propagación de dicha falla (Fig. 12). Es importante aclarar que si bien no hay una buena definición en el sector superior, los reflectores cercanos a la superficie son subhorizontales (Figs. 11 y 12) contrastando con los reflectores de la parte media, plegados.

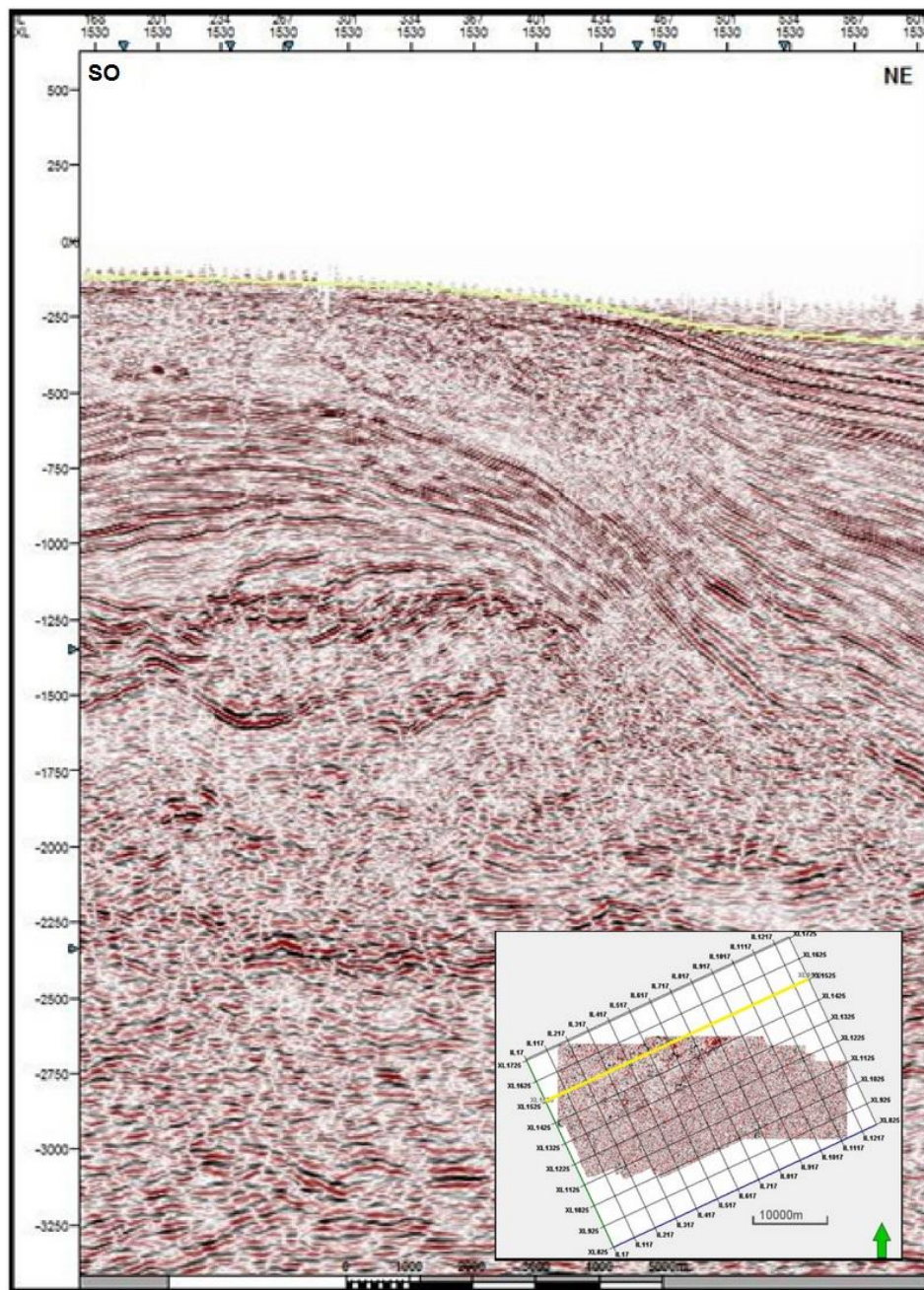


Figura 12: Reflectores someros, horizontales y paralelos a la superficie.

- 4) Hacia el sector SE del cubo, en el área conocida como Fosa de Challacó, se observa que los reflectores se presentan con una leve inclinación oriental y subparalelos entre sí, mostrando pequeñas discontinuidades.

Allí se perforó el pozo FCh-x.1 en donde se evidencia una columna sedimentaria más completa, respecto a la observada en los pozos del

sector NO, alcanzando 2070 m.b.b.p., sin encontrar al basamento. (Fig. 13)

Hacia la parte NE de esta misma sección sísmica, podemos detectar que comienza a modificarse la actitud de los reflectores, conformando una estructura y con una evidente disminución de los espesores sedimentarios sobre el basamento representado por una respuesta sísmica ruidosa. Los reflectores cercanos a la superficie son subparalelos y no muestran el plegamiento de la parte media.

La continuidad de los reflectores someros, horizontales y paralelos a la superficie remarcados en la (Fig. 12) permanece y se extiende por todo el cubo.

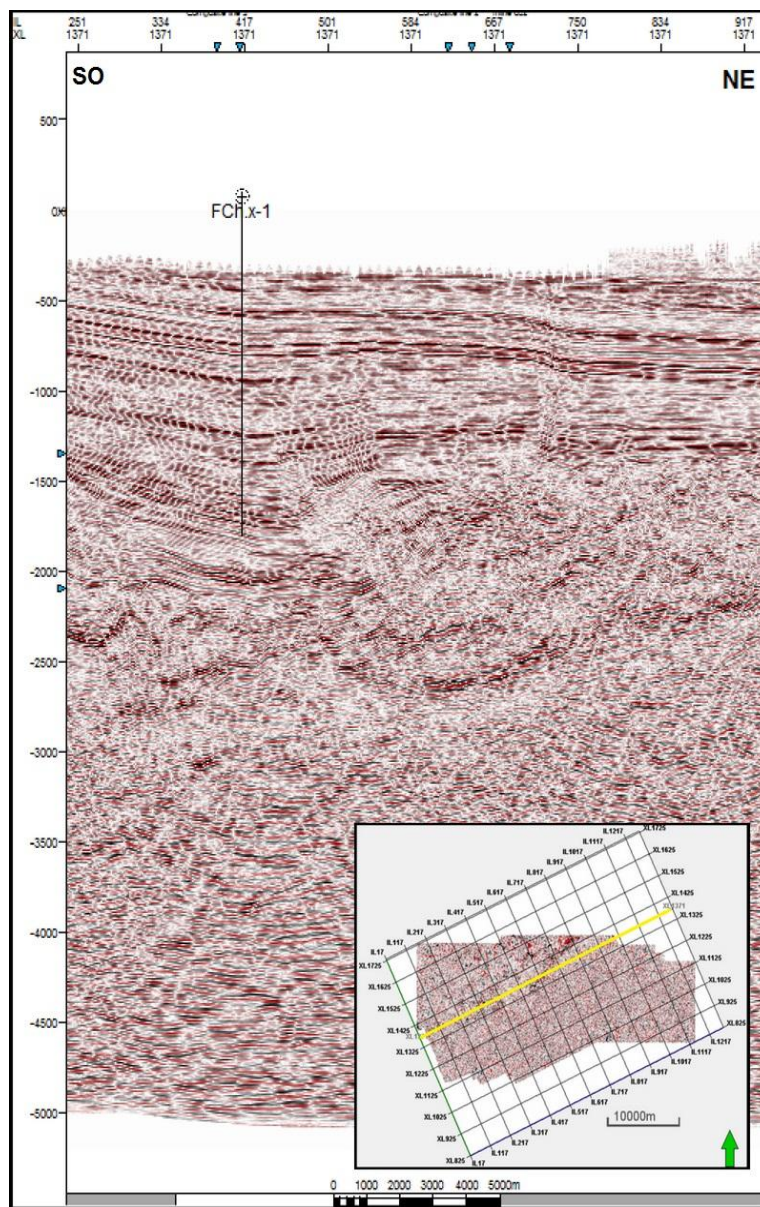


Figura 13: Sección sísmica, donde se observa el Pozo FCh.1-x.

- 5) Luego, en el sector más austral del cubo y con un análisis más general, se puede observar en la parte profunda y media de la sección sísmica, un predominio de reflectores discontinuos y sin orientación alguna, diferenciándose de forma clara, con los reflectores continuos y subparalelos a la superficie, alojados en la porción más somera de la misma imagen, (Fig. 14).

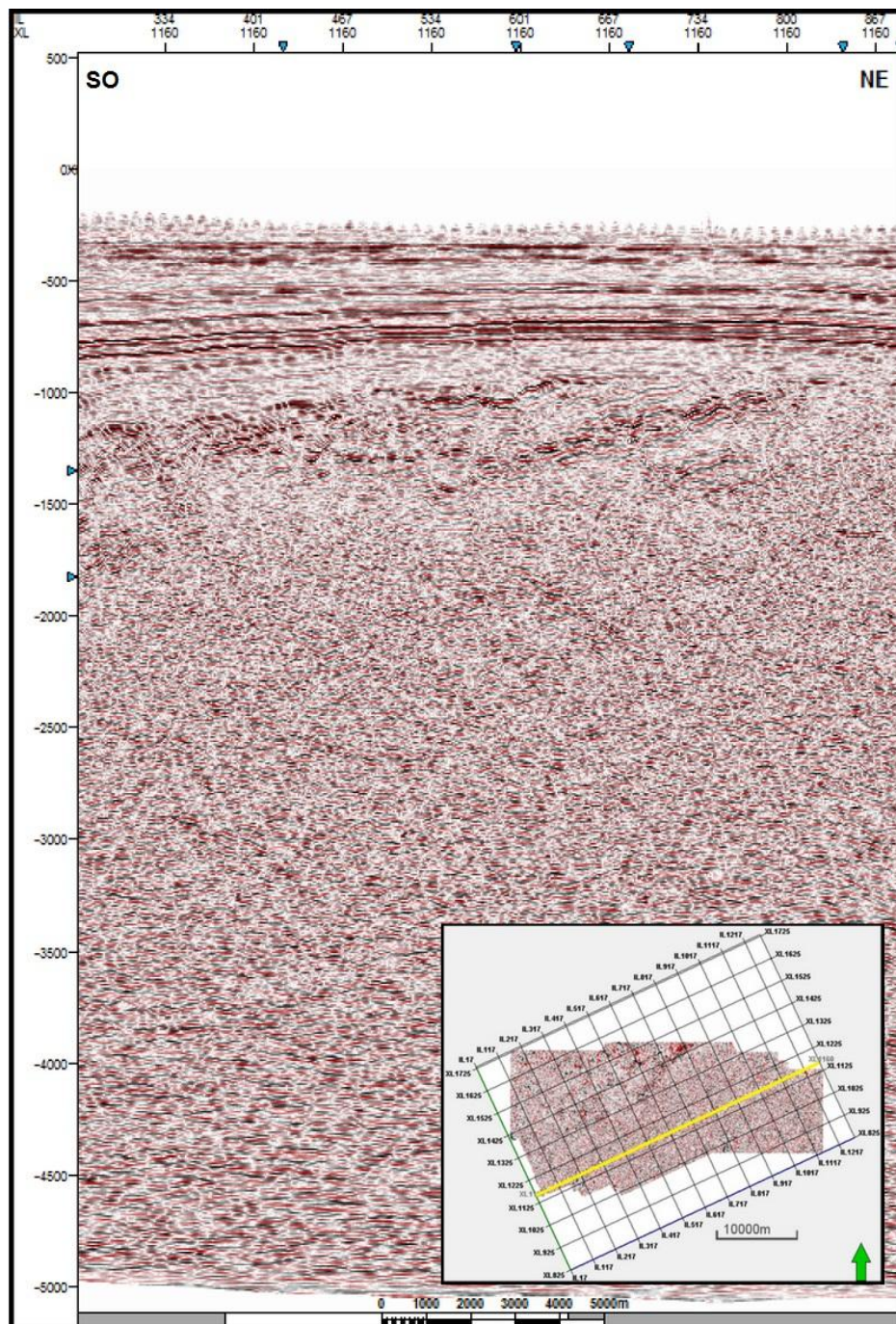


Figura 14: Disminución del espesor sedimentario y preponderancia del basamento cristalino.

De forma más detallada, en la porción media, de la sección recién observada, se puede notar la presencia de reflectores relativamente continuos, deformados y con un fuerte acuíñamiento hacia el sector NE de la sección. (Fig. 15)

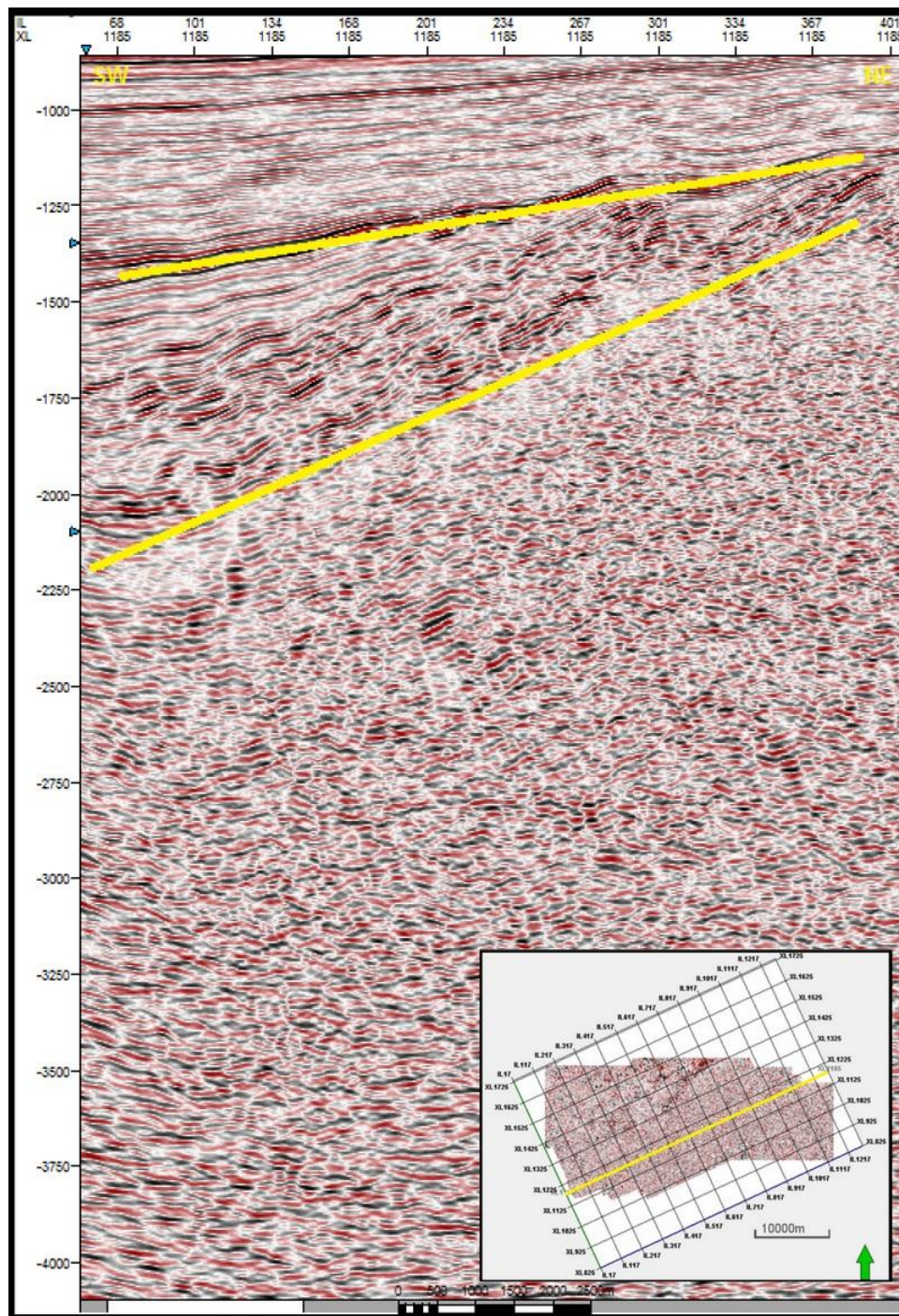


Figura 15: Actitud de culminación de los reflectores.

Debido a la falta de información de sondeo y utilizando la pequeña introducción al experimento sísmico, aquí se puede observar un mayor predominio de basamento, por sobre un pequeño paquete sedimentario alojado en la parte más superficial de la respuesta sísmica observada.

3 – Caracterización estructural del área

• Introducción

Esta caracterización, se realizará mediante la interpretación de la observado anteriormente, con especial atención en las relaciones de los reflectores y los rasgos más importantes sobre las secciones sísmicas seleccionadas.

Como ya se mencionó anteriormente, la observación se realizó principalmente sobre las secciones sísmicas de dirección SO - NE, denominadas *cross-line*⁸, sin embargo, para la obtención de una mejor interpretación no sólo se utilizaron dichas secciones, sino también, se recurrió a las secciones sísmicas de rumbo SE - NO, denominadas *in-line*⁹, logrando utilizar toda la información sísmica obtenida en la adquisición.

Se han planteado tres estructuras (Fig. 16) de mayor importancia para la determinación del timing estructural del área.

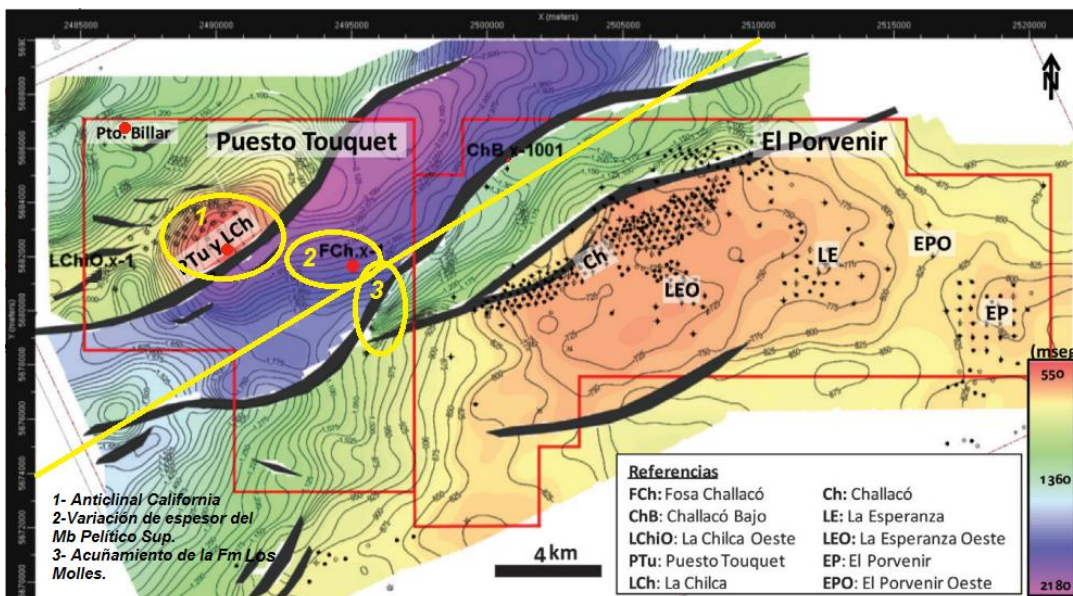


Figura 16: Mapa en tiempo al techo de grupo Precuyo, ubicación de las estructuras planteadas para la determinación del timing estructural del área. Hyung Joo Kim *et al.*, 2014. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. 2014, p 72.

⁸ Una línea sísmica de levantamiento 3D, perpendicular a la dirección de adquisición de los datos.

⁹ Una línea sísmica de levantamiento 3D, paralela a la dirección de adquisición de los datos.

La primera de ellas, se encuentra en el sector NO del cubo y es un anticlinal generado por procesos de inversión, donde la reactivación de las fallas jurásicas produce un pliegue por propagación de falla, denominado Anticlinal California y allí se aloja el yacimiento Puesto Touquet.

La segunda estructura, se encuentra en el sector centro-norte del cubo de información y está dada por la reactivación “selectiva” de dos fallas maestras normales, profundas y paralelas entre sí, a partir de las cuales, se genera un movimiento inverso en el mismo plano pero con un recorrido reducido.

La tercer estructura de importancia, la encontramos en el sector SE del cubo y está dada por un alto de basamento, en donde se genera un acuñamiento de la formación Los Molles sobre el basamento Pre-cuyano, que a su vez presenta fallas inversas y una probable erosión superficial.

Para poder explicar la conformación de las estructuras antes nombradas, se han determinado cuatro fases¹⁰ de gran importancia, las cuales se analizarán luego de la interpretación de las secciones sísmicas seleccionadas.

● Análisis geométrico de las estructuras

En el sector donde se realizó el Pozo PBi-x.1 (Fig. 10), se interpreta un pliegue anticlinal conformado por el grupo Cuyo, por encima del cual, se encuentra la formación Vaca Muerta representada por reflectores con actitud subhorizontal (Fig. 17). Debido a la relación truncada de los reflectores del G. Cuyo hacia la base de la formación Vaca Muerta (Fig. 18), se interpreta que ocurrió una erosión (discordancia Intramálmica, (Keidel, 1917, 1925; Suero, 1951)) de la parte superior de la formación Lajas. A su vez, se infiere que este hecho generó un relieve aplanado, dando lugar para la depositación de los sedimentos marinos, margas y pelitas oscuras de plataforma externa, correspondientes a la formación Vaca Muerta, en la gran ingresión ocurrida durante el Jurásico Superior (Tithoniano).

En el extremo SO de la sección sísmica se puede observar cómo se truncan los reflectores correspondientes a la formación Vaca Muerta, con los reflectores propios al grupo Neuquén. (Fig. 18)

¹⁰ Se denomina fase, a cada estadio tectónico que se ve reflejado en las imágenes de las secciones sísmicas según las terminaciones estratales halladas, las cuales evidencian un momento de perturbación estructural en el área.

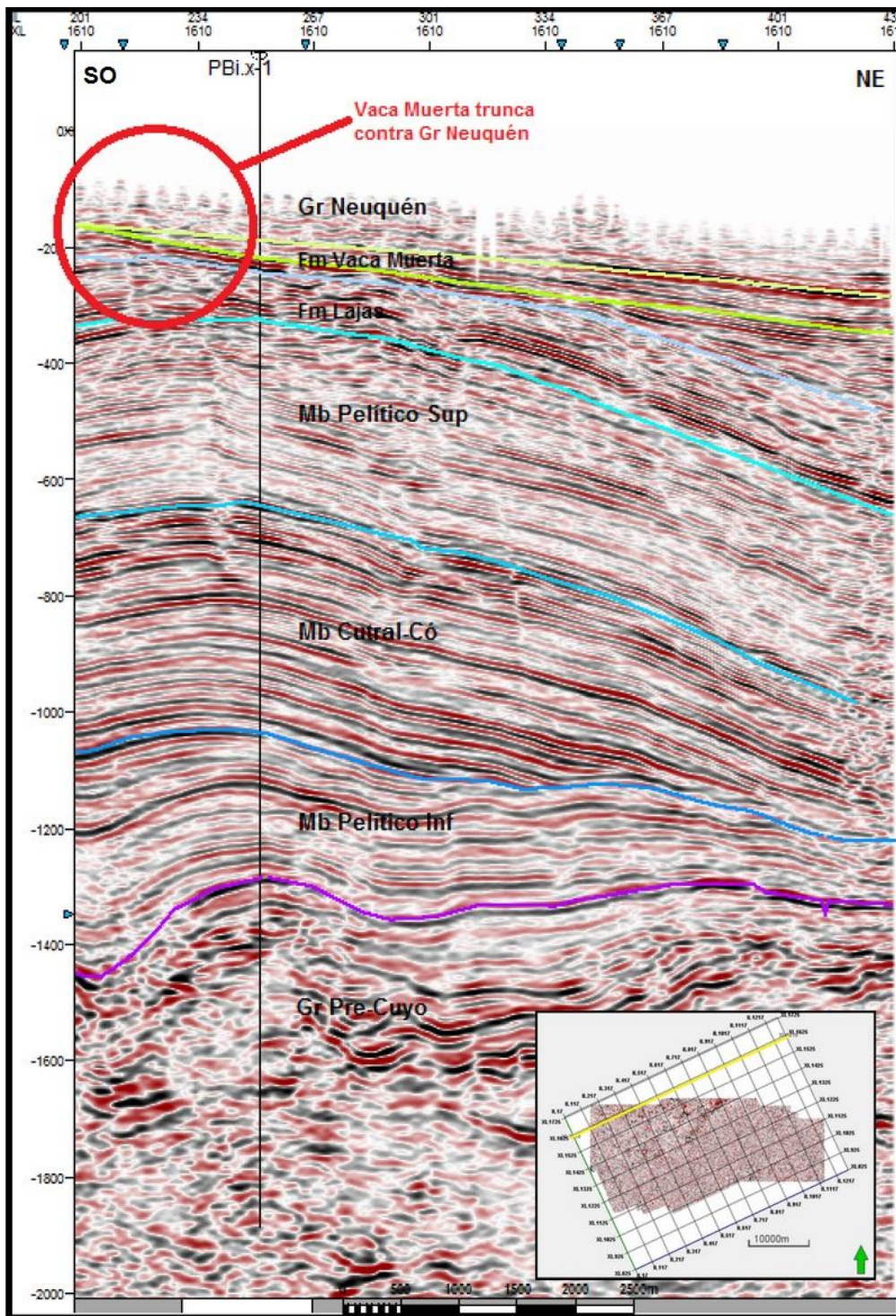


Figura 17: Pozo PBI.x-1, con su respectiva interpretación, a partir de los topes de las formaciones atravesadas y registradas durante la perforación.

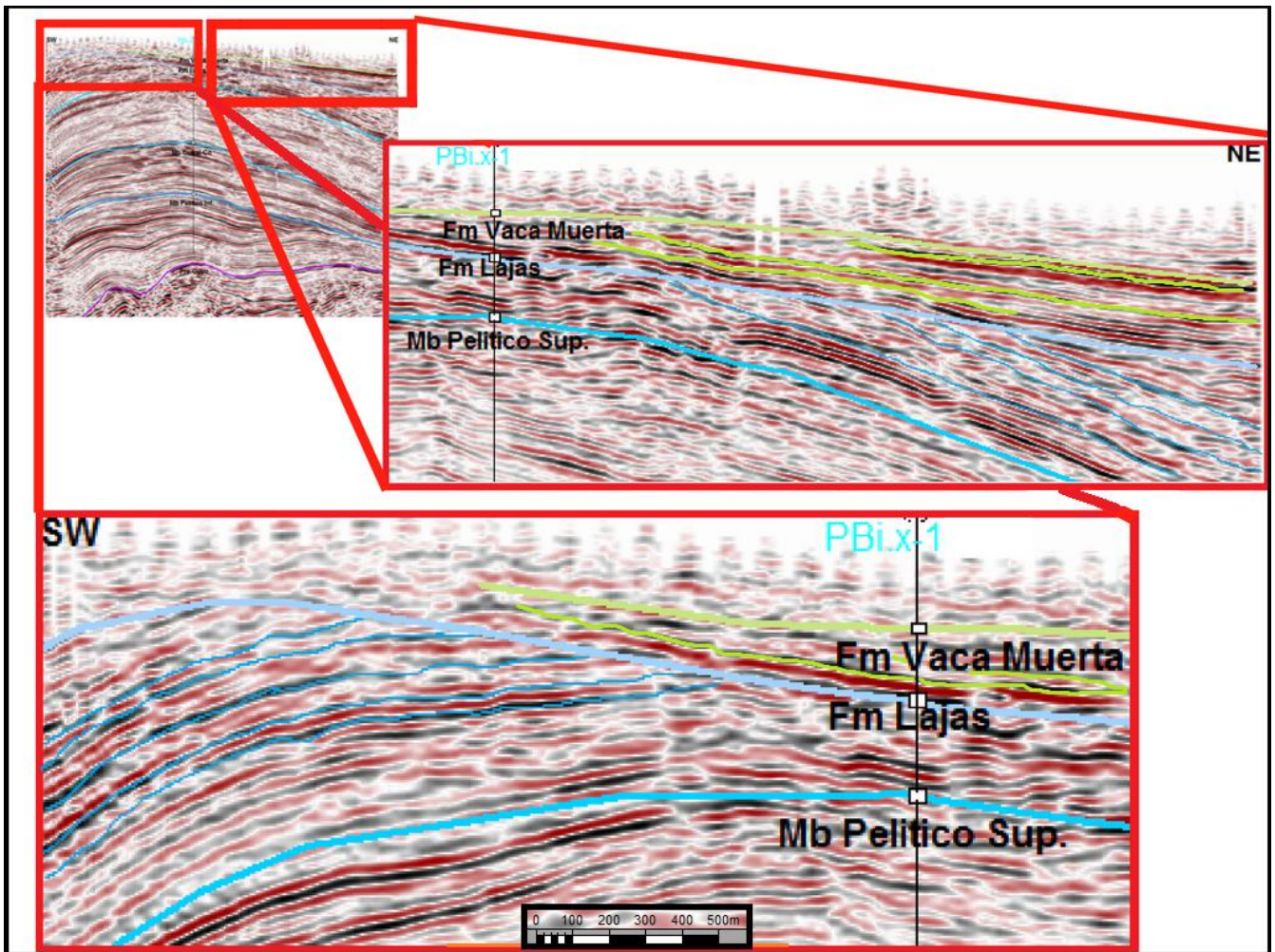


Figura 18: Acercamiento de la misma sección sísmica de la figura 20. **En celeste**, reflectores de la formación Lajas truncada contra la base de la formación Vaca Muerta; **En verde**, reflectores de la formación Vaca Muerta, truncados con los reflectores del grupo Neuquén.

Luego, para una mejor interpretación, se realizó una línea compuesta que abarca, tanto Puesto Billar como también Puesto Touquet y recorre las inmediaciones del pozo PBi.x-1, con el objetivo de observar la relación entre los reflectores a lo largo y ancho del bloque Puesto Touquet. En esta línea se observa cómo los reflectores pertenecientes al miembro Cutral-Có se relacionan en *on-lap* con los reflectores que corresponden al miembro Pelítico inferior. Esta relación indica que durante la depositación de estos cuerpos sedimentarios ya existía una dinámica tectónica de compresión. (Fig. 19)

A su vez, en esta misma línea compuesta, pero en otra ubicación, hacia el NE, se observa cómo los reflectores basales de la formación Challacó culminan en *on-lap* sobre los reflectores superiores de la formación Lajas (Fig. 20)

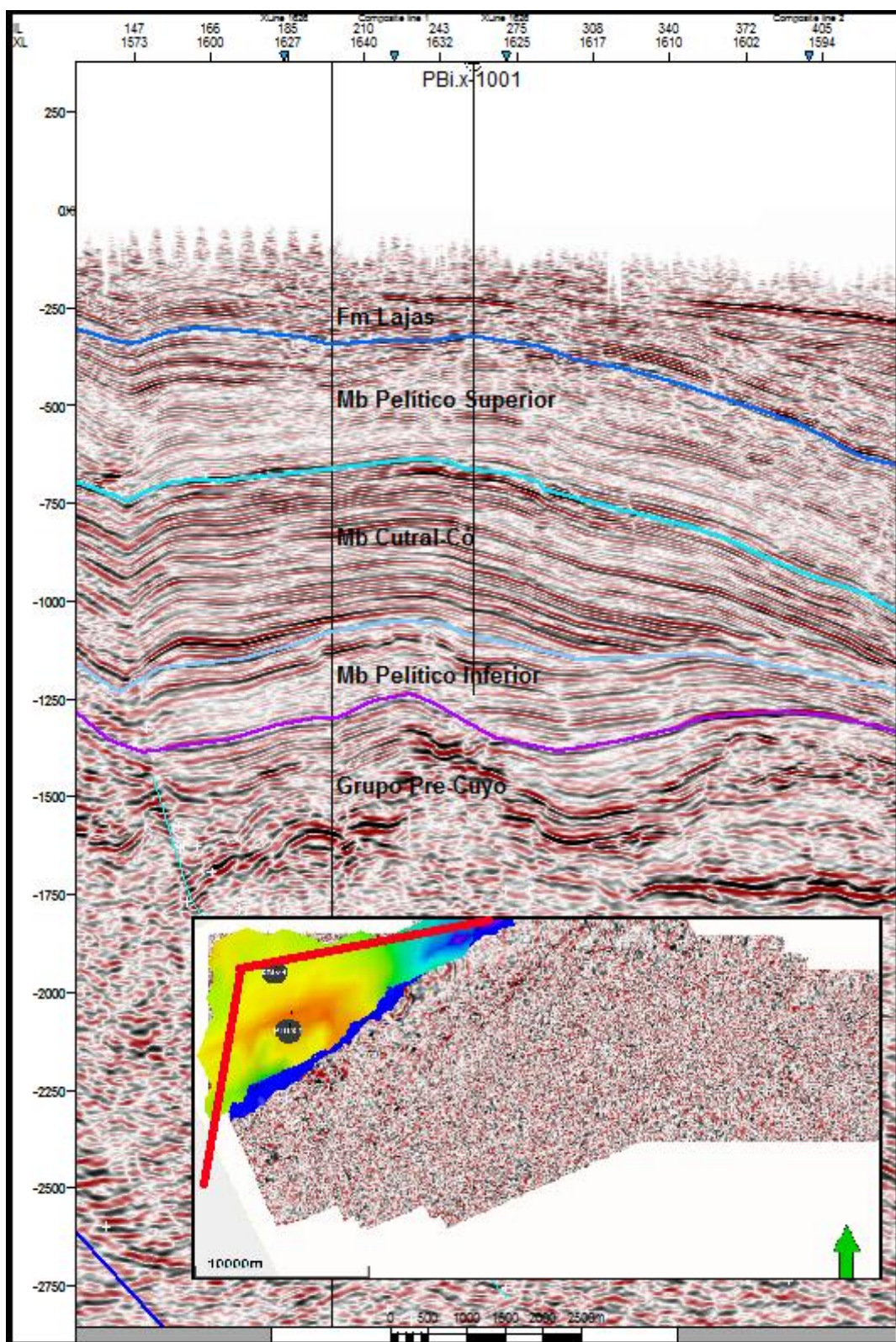


Figura 19. Línea compuesta (en rojo) que muestra la relación en *On-lap* de los miembros Cutral-Có y Pelítico Inferior. En el mapa se observan los pozos, Pbi.x-1 al NO del cubo, expresando su presencia sobre la sección sísmica y por de bajo, el pozo PTu.x-1.

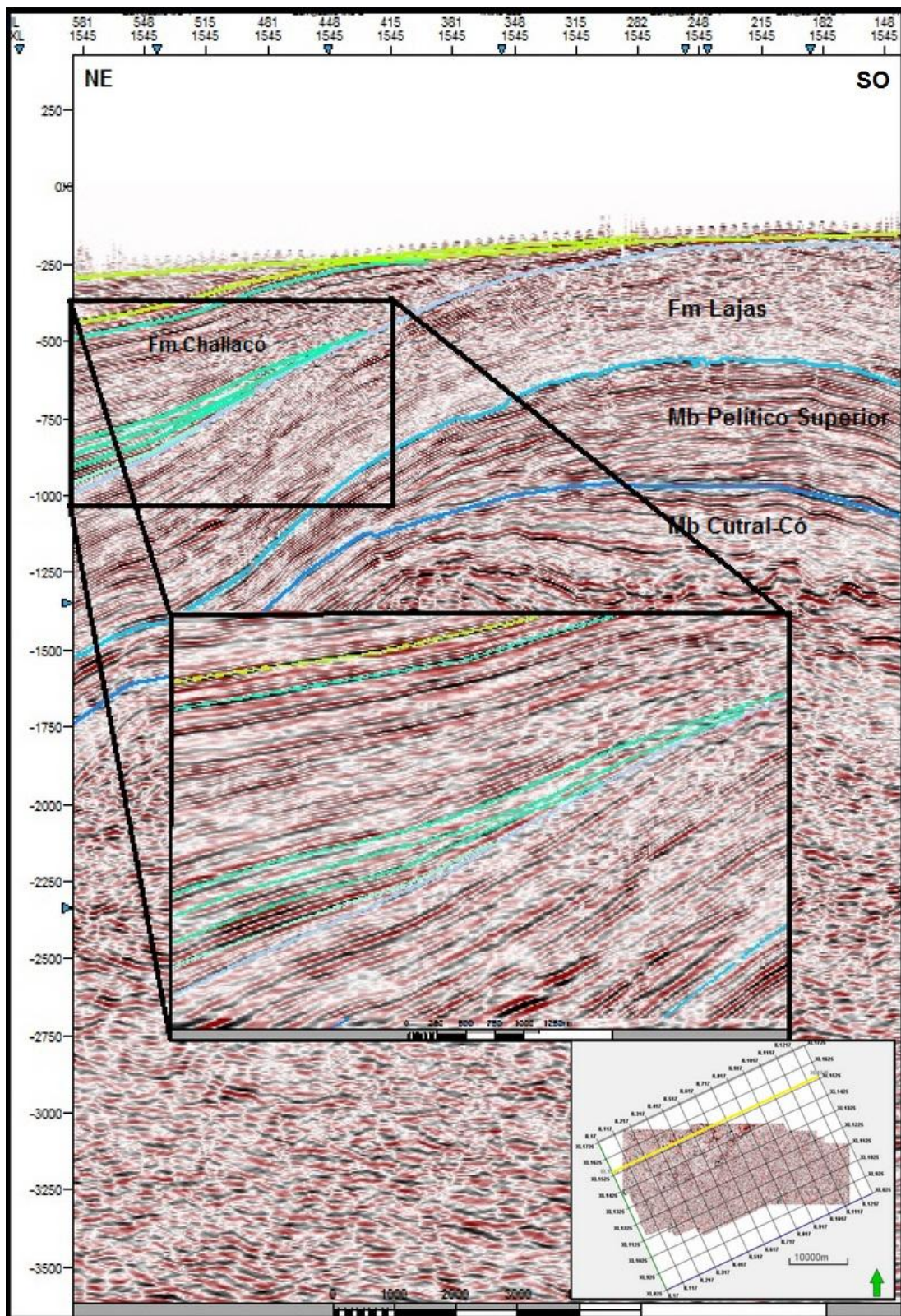


Figura 20. Hacia el NE sobre la línea compuesta, reflectores basales de la formación Challacó se relacionan en on-lap contra los reflectores superiores de la formación Lajas.

En la descripción de lo observado en las secciones sísmicas, se señala que al SE del Pozo PBi.x-1, se encuentran reflectores dispuestos de manera convexa, que se interpretan como un pliegue anticlinal, conocido como “Anticlinal California”. (Fig. 21)

Para explicar la presencia de esta estructura, se la relaciona a la gran discontinuidad, dada por una falla, que se observa en la parte Centro-NO del cubo y es denominada en la bibliografía como Falla Divisadero (Fig. 21).

Queda constancia que esta falla, no ha sido uniforme en su propagación a lo largo de su rumbo, ganando representatividad superficial hacia el SO (Fig. 22). Esto fue interpretado a partir de la continuidad de los reflectores de las formaciones interceptadas por esta, a lo largo del cubo de información (Fig. 23).

Hacia el noreste de la sección sísmica expuesta en la figura 20, se puede observar la interpretación de reflectores, Jurásicos y Cretácicos que acompañan la conformación del pliegue y se truncan en la parte superior con los reflectores paralelos a la superficie, correspondientes, según datos de pozo, a la formación Centenario y al grupo Neuquén (Fig. 24). Esto último, demuestra que, en algún momento de su historia geológica estuvieron, las formaciones Challacó, Tordillo, Vaca Muerta y Quintuco inferior, conformando el anticlinal California, pero luego fueron erosionadas.

Este proceso erosivo debe corresponder a una edad que, ubicada sobre la línea de tiempo, se encuentra anterior a la depositación del primer cuerpo de roca que se sitúa suprayaciendo la estructura, la cual corresponde a la formación Centenario. Su base, según datos bibliográficos, está datada para el Valanginiano. Con esta sistematización encontramos una edad relativa para el proceso erosivo correspondiente al Cretácico inferior, siendo esta la edad referida a la discordancia intravalanginiana (Gulisano *et al.*, 1984).

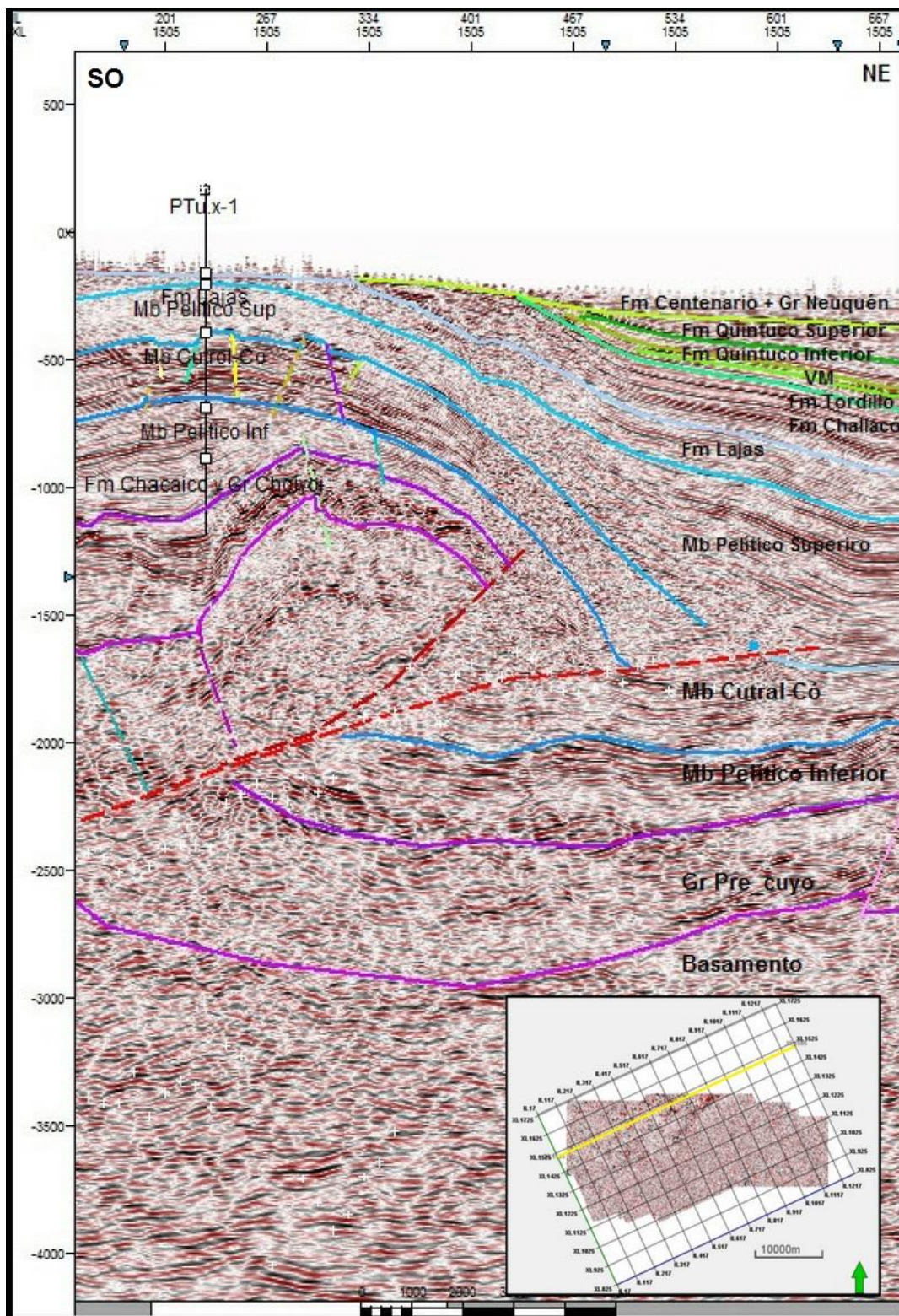


Figura 21: Pozo PTU.x-1, donde se observa la perforación por la charnela del pliegue Anticlinal. La línea roja punteada describe la interpretación de la falla Divisadero, para esta sección sísmica. En la parte NE de la imagen, se muestra como se truncan los reflectores cretácicos sobre la base de Gr Neuquén y la formación Centenario.

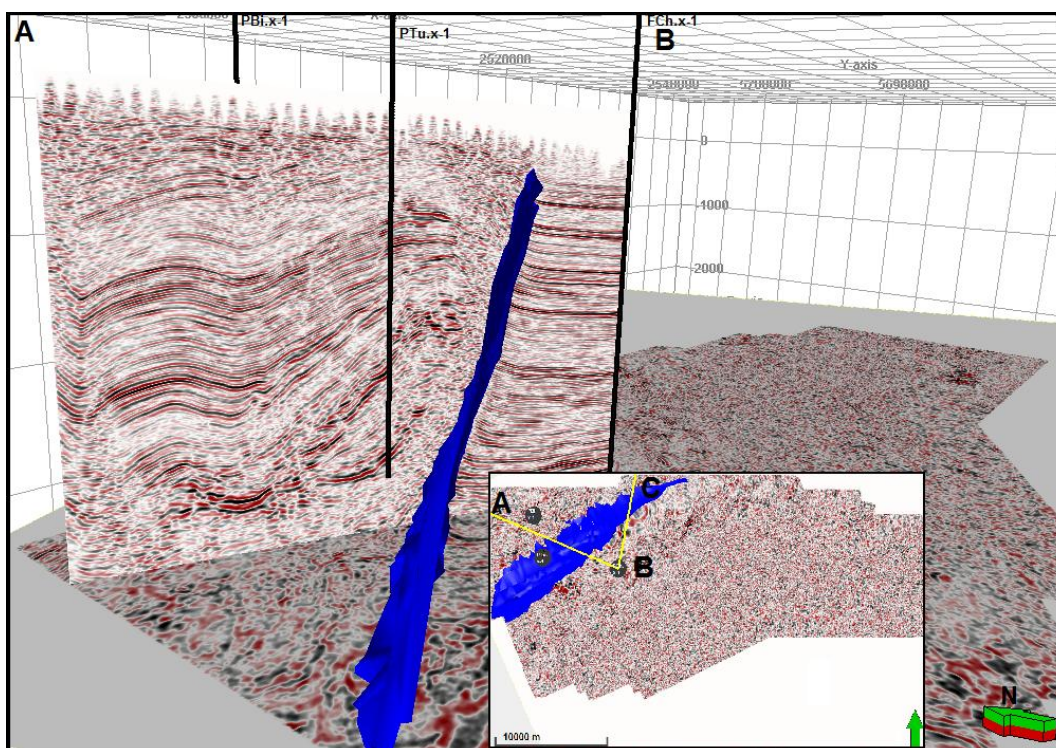


Figura 22: A-B: Aspecto NW de la Falla Divisadero (azul) en el cubo de información sísmica.

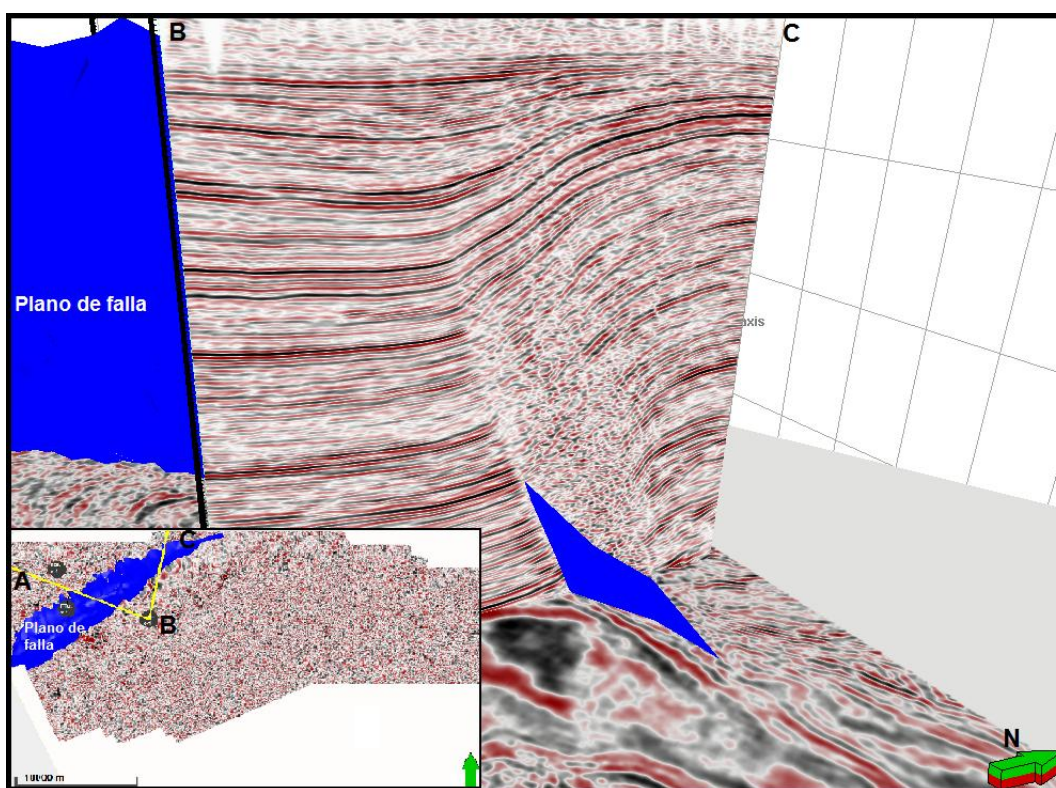
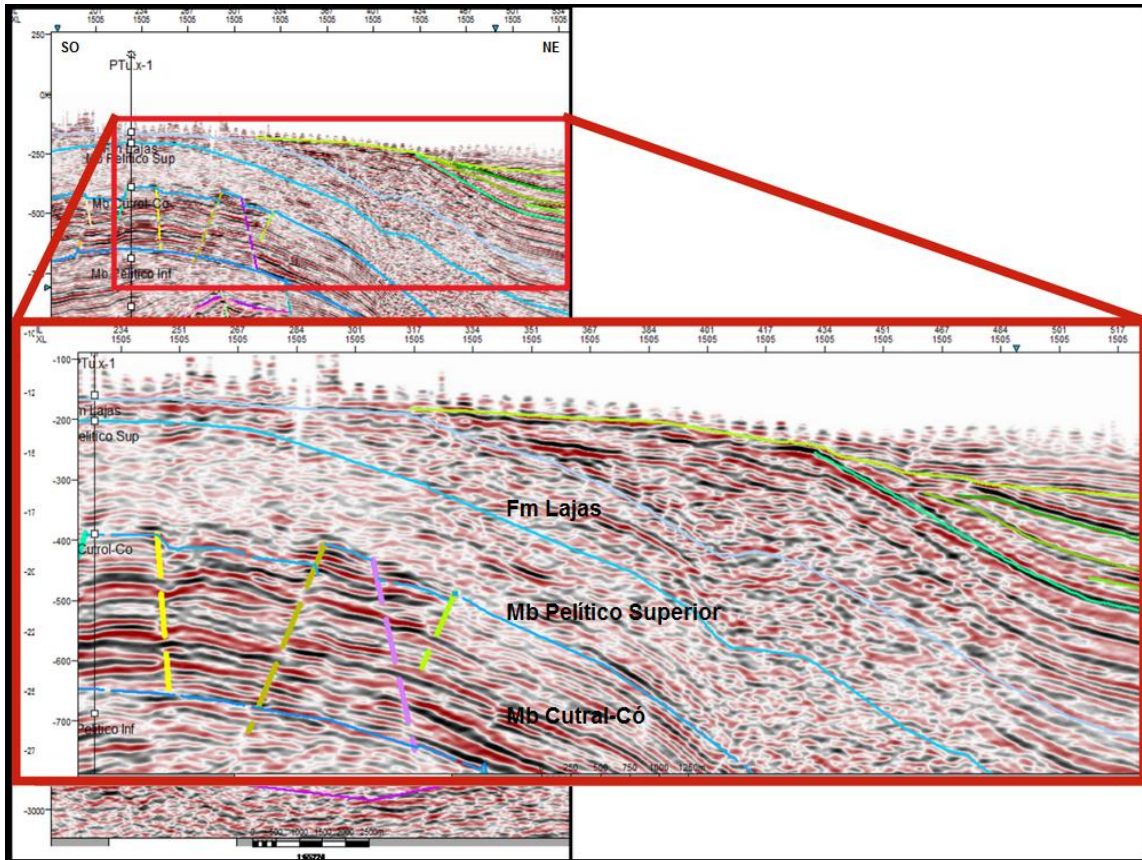


Fig 23: B-C: Aspecto NO de la Falla Divisadero (azul) en el cubo de información sísmica.



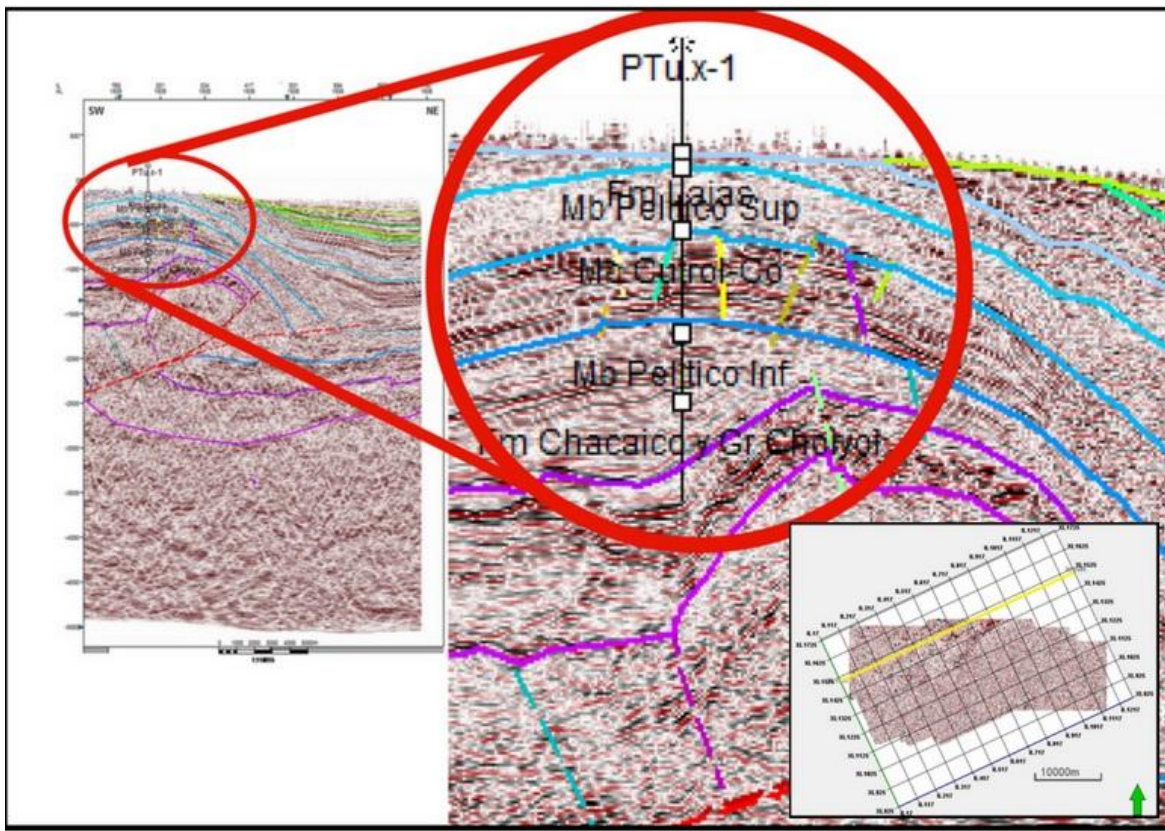


Figura 25: Charnela del Anticlinal California sin Fallas normales por acomodación

En el sector centro del cubo, en la zona llamada Fosa de Challacó (Fig. 9), se generaron pliegues de propagación, encontrando fallas debajo de los ejes de los pliegues sinclinales, lo cual se deduce a partir de varias inflexiones en los reflectores continuos de la sección sísmica.

Como ya se mostró anteriormente (cuadro 1), durante la perforación del pozo FCh.x-1, se atraviesa un paquete sedimentario aún mayor respecto del pozo correspondiente al yacimiento Puesto Touquet y se alcanza una profundidad de 3753 m.b.b.p.

En las inmediaciones de este pozo y partir de la sección sísmica *cross-line* con perspectiva SO-NE se interpreta una falla que sobresale de dicha sección (Fig. 26). La falla aludida puede observarse de forma más clara en perspectiva NO – SE, correspondiente a las secciones sísmicas *In-Line*, (Fig. 27).

Dicha falla afecta de manera inversa desde el basamento y continúa, de forma ascendente, hasta la formación Los Molles, atravesando solamente a los miembros Pelítico inferior y Cutral Co, plegando a su vez formaciones más contemporáneas (Fig. 26 y 27), continuando su desarrollo hacia el sector SE del cubo.

La presencia de esta falla inversa, se describe a partir de la inversión de una falla normal generada con anterioridad, más exactamente durante el rift permo-triásico. A partir de la generación y presencia de esta falla, se generan nuevas zonas de debilidad en la parte más superficial de la columna de roca, generando la

posibilidad de la creación de nuevas fallas que despegan a partir de ésta, produciendo nuevos plegamientos, de menor envergadura.

En la interpretación sísmica, se observa una gran variación en el espesor real del miembro Pelítico Superior, el cual es corroborado a partir de la búsqueda y lectura del legajo del pozo FCb.x-1001, ubicado inmediatamente al noreste del pozo FCh.x-1, donde se pudo constatar dicha variación, ver Cuadro 7.

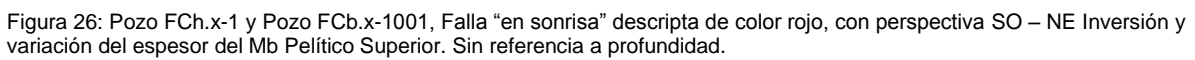
Miembros	Pozo FCh.x-1 (m)	Pozo FcB.x-1001 (m)
Pelítico Sup	1210	235
Cutral-Co	285	352

Cuadro 7: Cuadro comparativo del espesor de los miembros superiores de la formación Molles, en dos pozos cercanos.

Como se dijo anteriormente, al momento de la depositación de la formación Los Molles inferior (Pliensbachiano inferior (Gulisano *et al.* 2007)), existe una dinámica tectónica activa en la región, avalado por las relaciones estratales en forma de *on-lap* entre los miembros Cutral-Co y Pelítico inferior (Fig. 28).

Durante la depositación de Los Molles superior se continúa la reactivación de las fallas más profundas, pero la creación del relieve estructural del pliegue California es menor que en la etapa anterior y mantiene la tasa de sedimentación que produce un *on-lap* que va cubriendo la cresta anticlinal. A su vez, sufre proceso de erosión y por ese motivo se deduce de la interpretación sísmica, la sobreyacencia del Miembro Pelítico Superior sobre el Grupo Pre-Cuyo (Fig. 29). En consecuencia se conforma una geometría de cuña respecto al sector SO con mayor espesor de estos depósitos (Fig. 30). Esta geometría de cuña es típica de estratos depositándose en el mismo tiempo que el crecimiento de la estructura y por ese motivo se denominan estratos de crecimiento. Particularmente en este caso se observa un crecimiento progresivo de la estructura (Anadón *et al.*, 1986; Riba, 1976).

Para una mejor visualización de cómo varía el espesor del miembro pelítico superior de la formación Los Molles, se realizó una línea sísmica compuesta del cubo de información (Fig. 31)



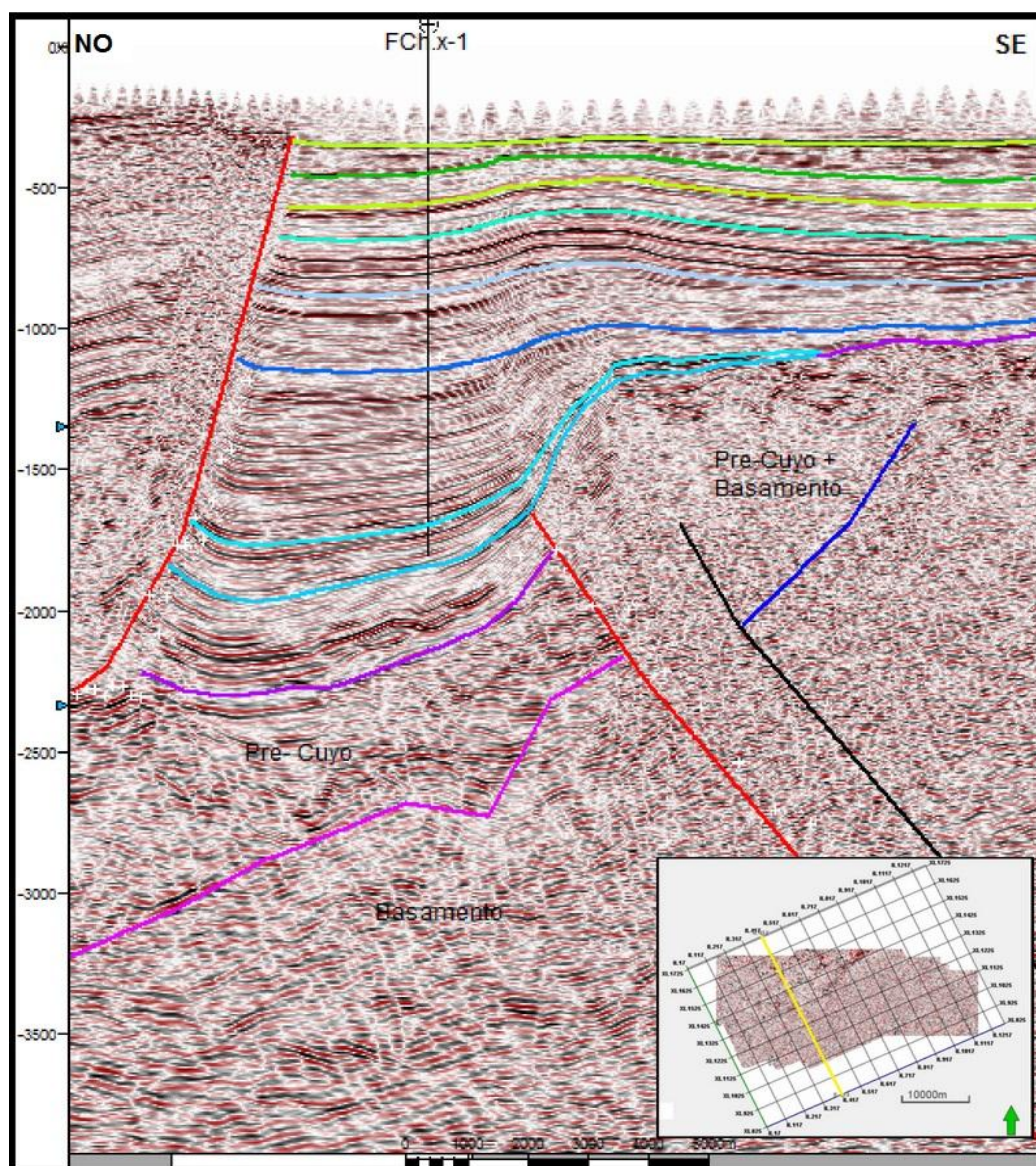


Figura 27: Perspectiva NW – SE, In-Line 414 de la falla inversa en sonrisa.

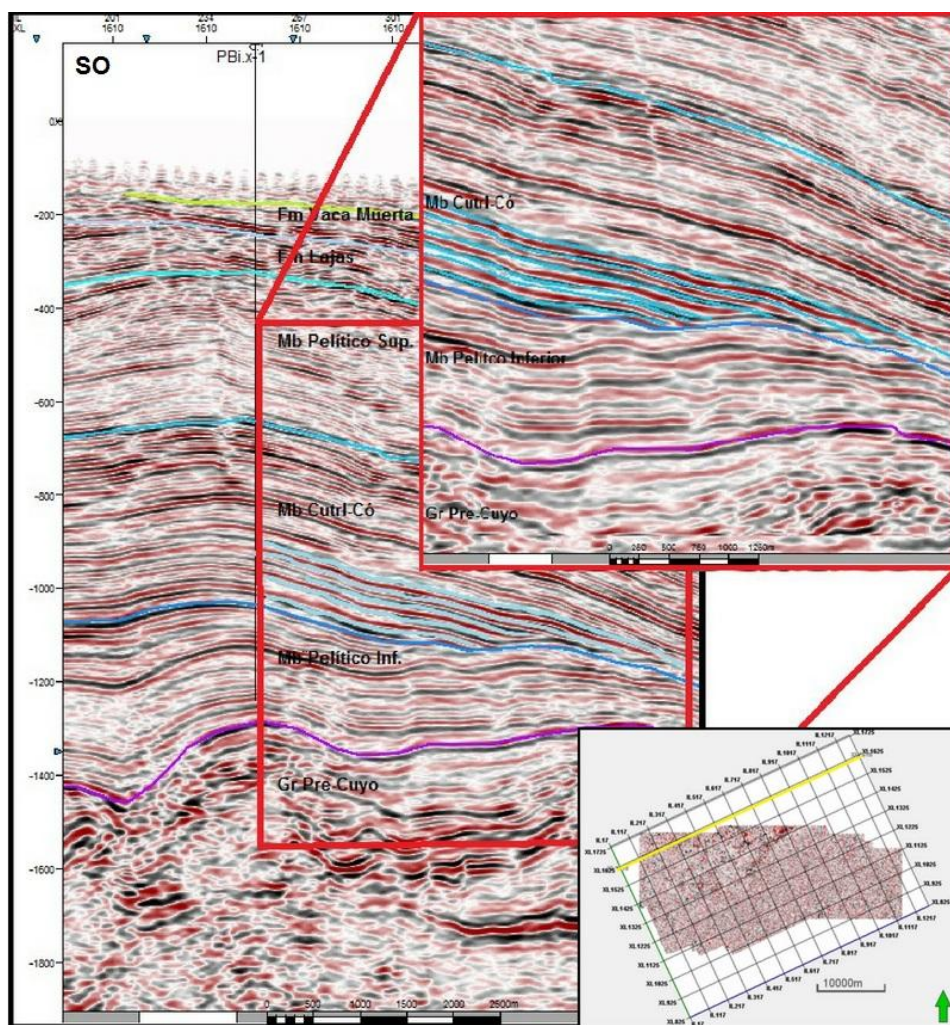


Figura 28. On-lap del miembro Cutral-Co contra el miembro Pelitico Inferior.

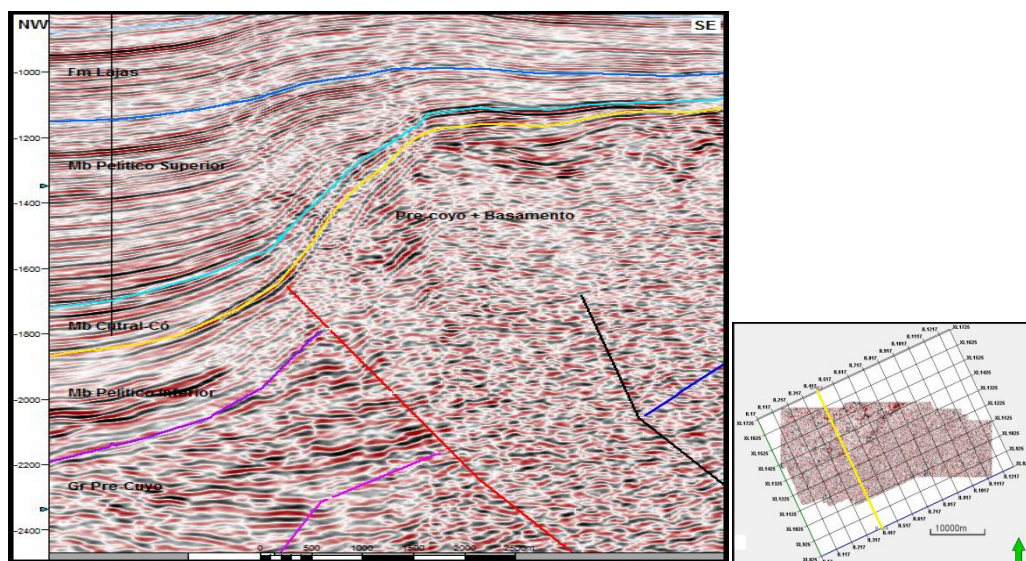


Figura 29: Discordancia (en amarillo) entre la formación Los Molles y el grupo Pre-Cuyo. Acercamiento de respuesta sísmica In Line 414 (Figura 30)

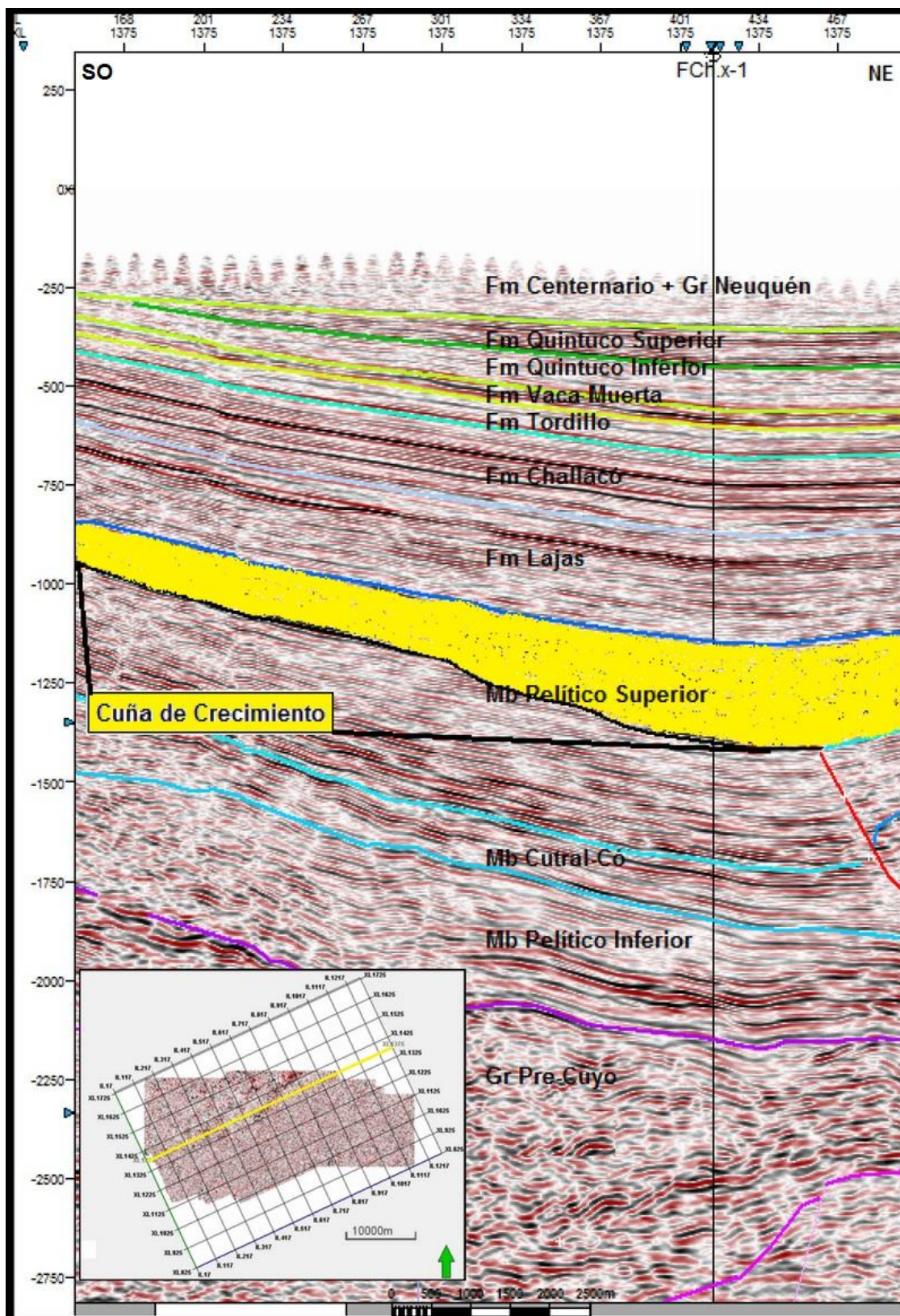


Figura 30: Cuña de crecimiento del miembro Pelítico Superior.

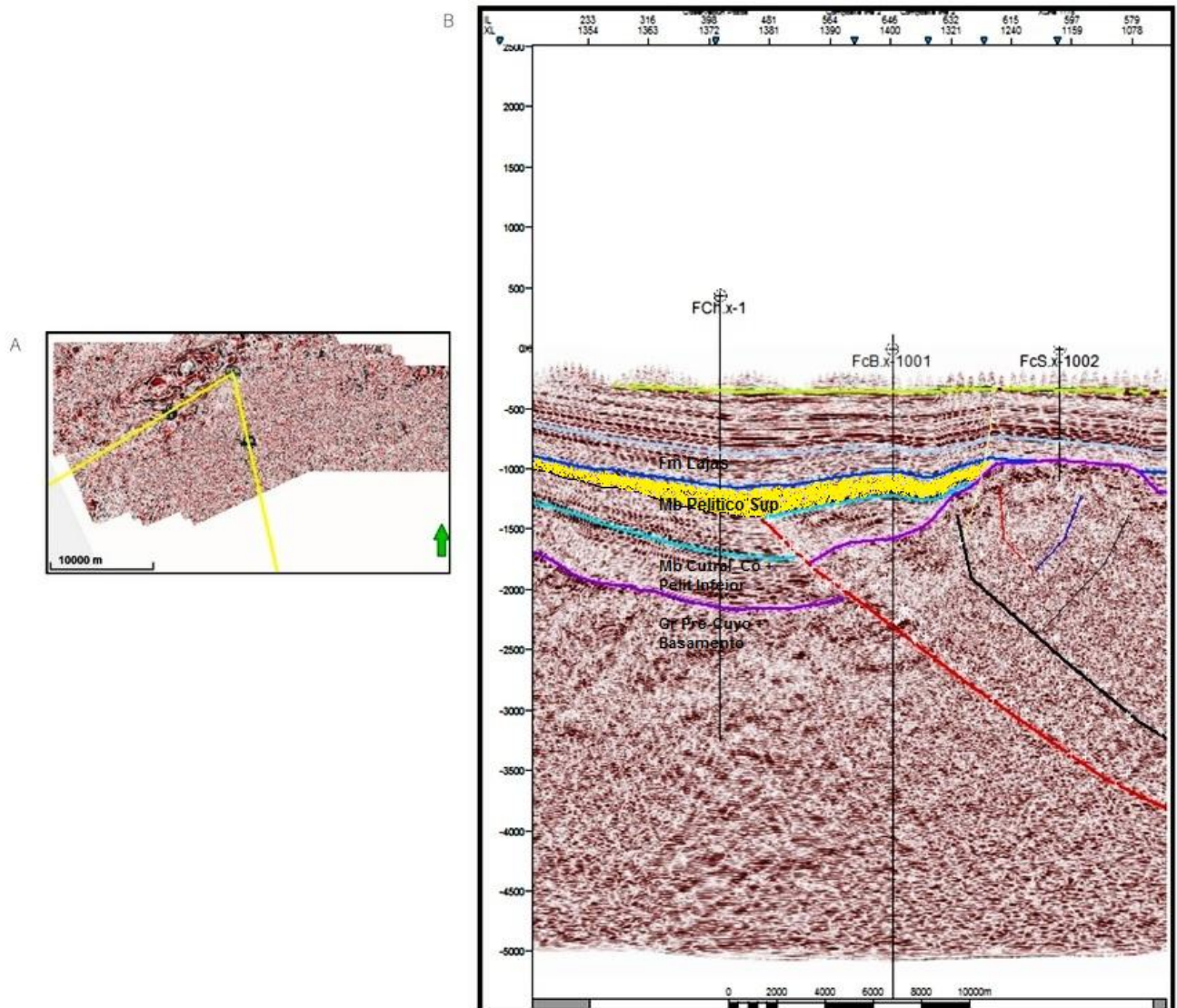


Figura 31: A- Vista en planta, de línea compuesta por los pozos FCh.x-1, FCB.x-1001 y FCS.x-1002. B- Vista de perfil¹¹, de la línea compuesta, notando la variación del espesor del miembro Pelítico Superior, correspondiente a la formación Los Molles.

El crecimiento de la estructura generada por la falla de inversión también se manifiesta en tiempos de Quintuco Superior, ya que esta presenta un acúñamiento de *on-lap* sobre la cresta de la misma formación (Fig. 32).

Esta variación se observa de manera clara a partir de reflectores medios de su mismo cuerpo de roca, los que se disponen en *on-lap* sobre los reflectores basales de dicho cuerpo (Fig. 33).

¹¹ Solo el pozo FCh.x-1 está correlacionado en tiempo al cubo sísmico, los restantes pozos, por falta de información, solo muestran su ubicación geográfica y para corroborar con la lectura de los legajos.

Cuando se observan los reflectores superiores de la misma formación, es notoria una leve truncación de los reflectores superiores, contra lo reflectores basales de la formación Centenario (Fig. 34 y 35), lo cual evidencia la presencia de un hiato y/o discordancia por encima de esta, la cual podría ser asignada al *Barremiano*.

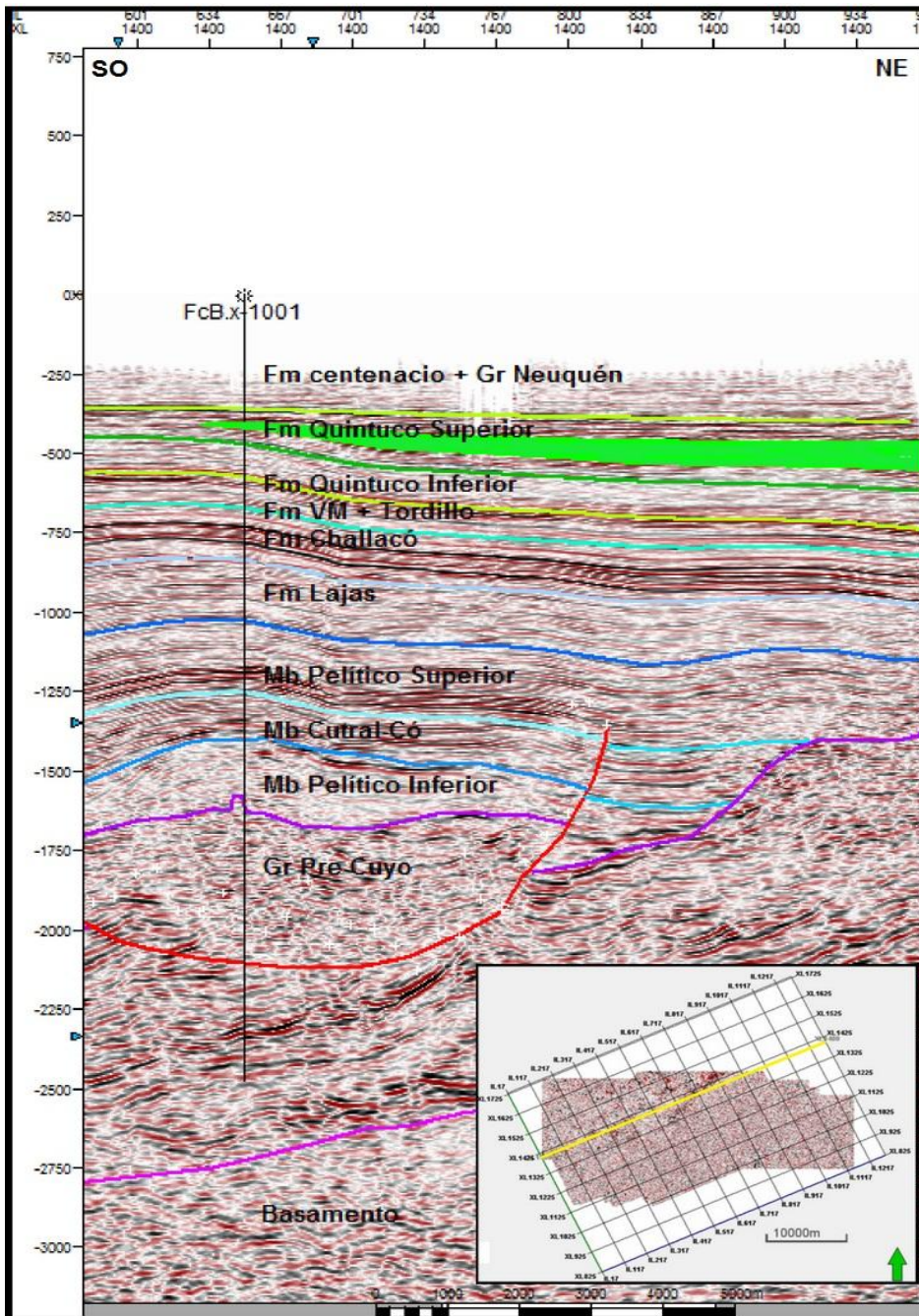


Figura 32: En verde, se observa la variación de espesor de la formación Quintuco superior.

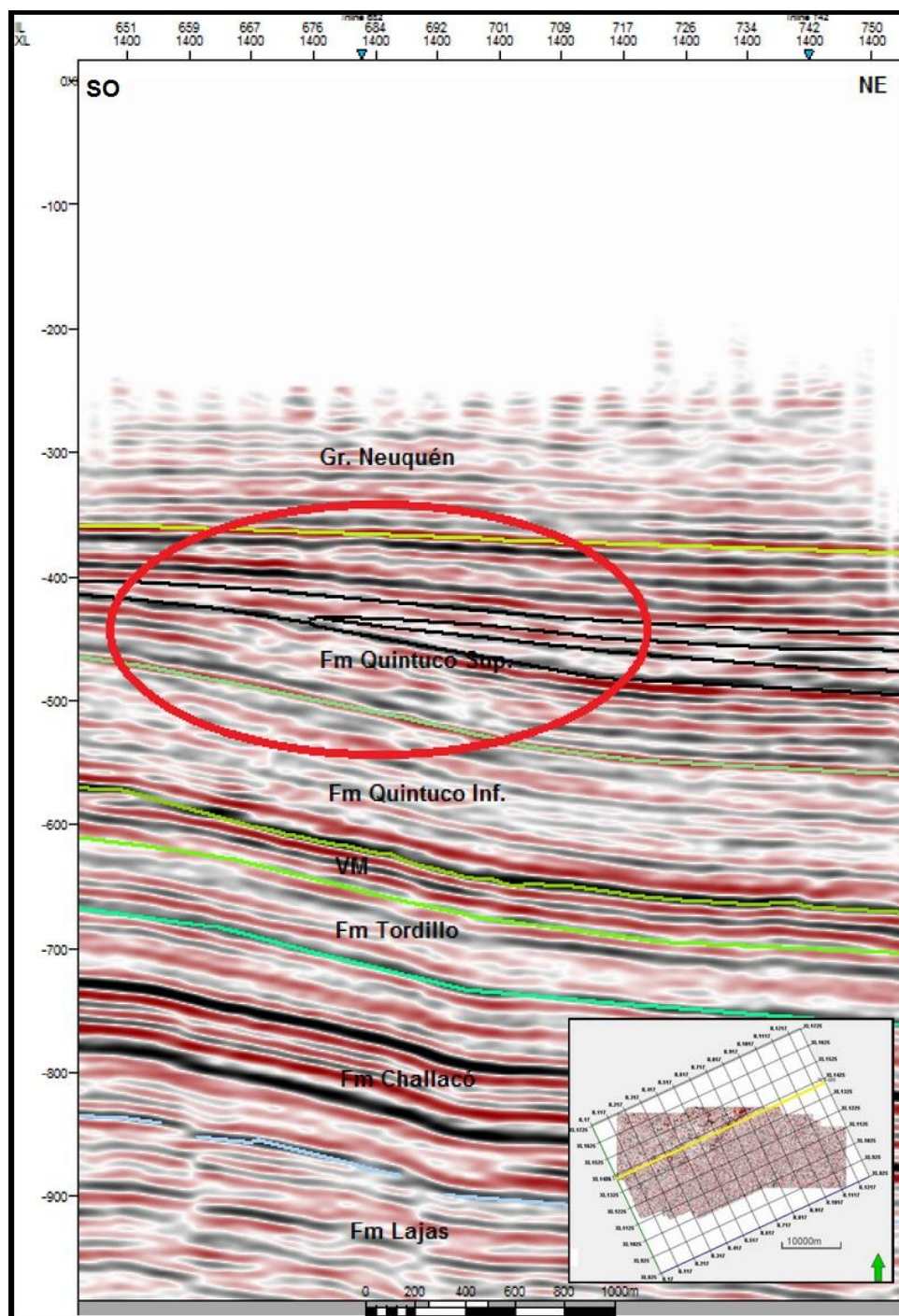


Figura 33: On-lap de los reflectores medios, contra los reflectores basales de la Fm Quintuco Superior

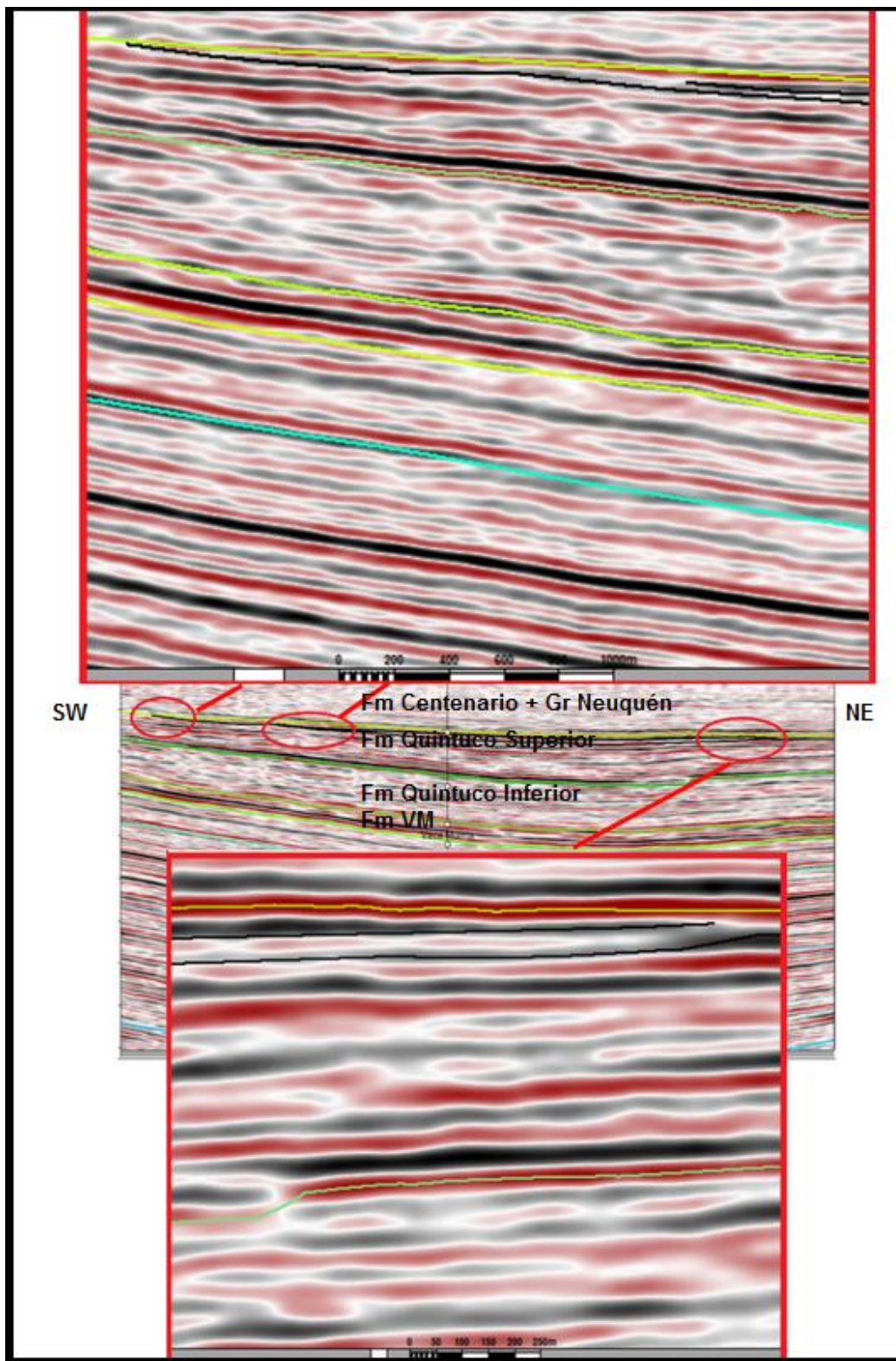


Figura 34: Reflectores superiores de la formación Quintuco Superior truncados contra la formación Centenario, sector central de la sección sísmica. Acercamiento de la imagen anterior.

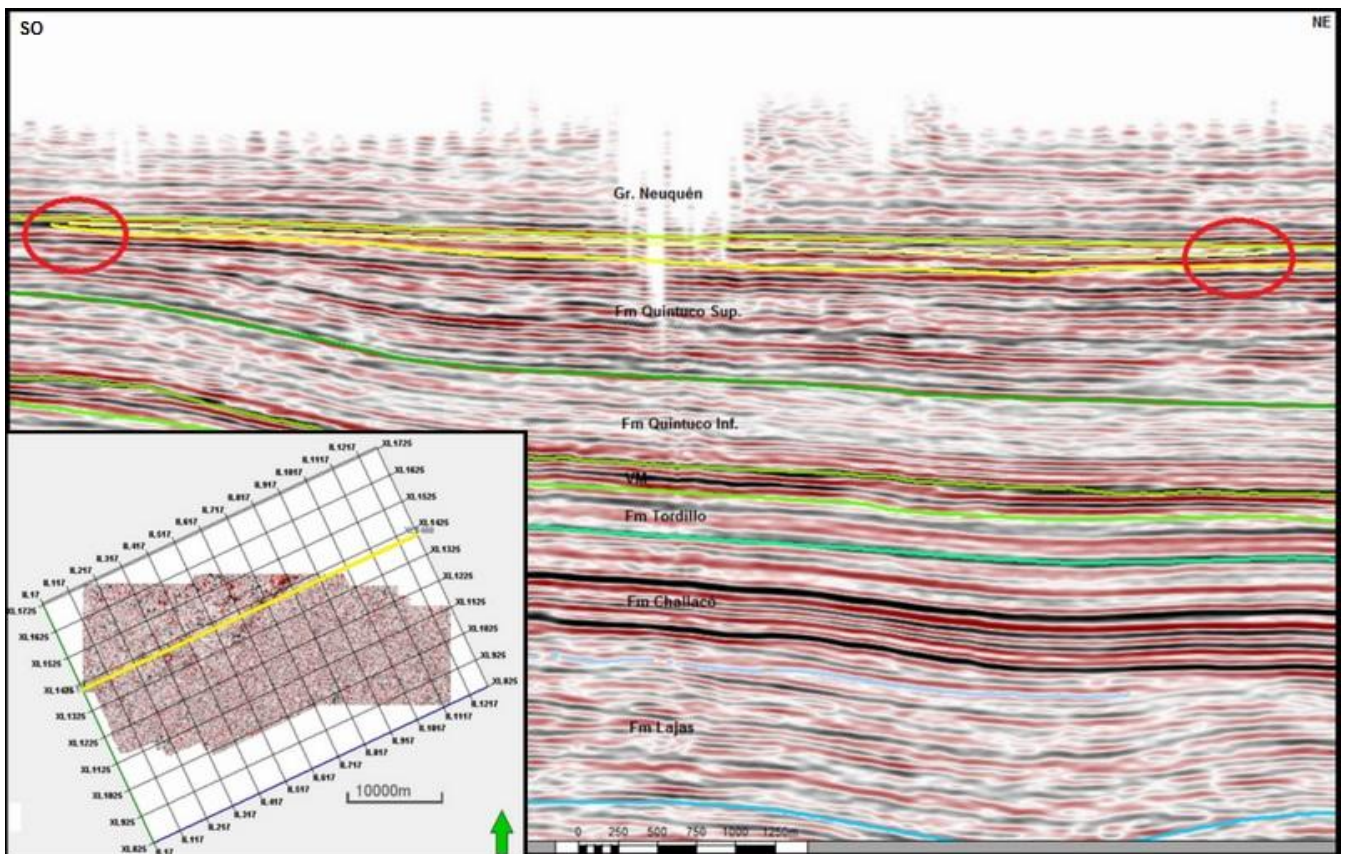


Figura 35: Reflectores superiores de la formación Quintuco Superior truncados contra la formación Centenario, sector NE de la sección sísmica.

Al continuar con la interpretación, en dirección sureste del cubo sísmico y con ayuda de los legajos de pozo, se observa un mayor predominio del basamento (Fig. 14), correspondiente al grupo Choiyoi y a las rocas volcanoclásticas del grupo Precuyo. Estas últimas, se encuentran como depósitos de *sinrift* producto de la extensión jurásica, según los legajos podrían corresponder a la formación Chacaico.

La formación Los Molles tiene la característica de acunarse hacia el basamento y al *sinrift*, debido al crecimiento de las estructuras presentes en el área (Fig. 36).

Por encima de este acunamiento y hacia el noreste de la misma sección sísmica, se encuentra la formación Lajas, completando la sedimentación del grupo Cuyo. Luego la columna sedimentaria se continúa con las formaciones encontradas en el registro del pozo FCh.x-1, (cuadro 4).

En el basamento, las secciones sísmicas muestran el colapso crestal del *rollover* de la etapa inicial extensional, observándose que el mismo sufre una leve inversión durante las etapas posteriores.

El colapso se interpreta por la geometría que muestran los cambios bruscos de coloridad y actitud en los reflectores pertenecientes al grupo Precuyo, hecho que se debe a la presencia de fallas normales que interceptan al cuerpo volcanoclásticos (Fig. 37).

La inversión de este colapso se indica porque se observa un leve plegamiento con curvaturas de menor radio que la estructura mayor, a la cual se le podría adjudicar una edad Jurásica inferior (Toarciano).

Para corroborar que la interpretación es correcta, se utiliza la información del legajo y ubicación del pozo FCs.x-1002, encontrándola satisfactoria, ya que tanto en la interpretación como en la lectura del legajo, por ese punto no existe la presencia del miembro Pelítico superior, sino que la perforación intercepta directamente a las vulcanitas correspondientes al grupo Precuyo, luego de atravesar el cuerpo correspondiente a la formación Lajas.

Para validar de otro modo dicha hipótesis, se propone realizar una perforación hacia el NO, en la intersección de la sísmica IL 600 y la XL 1190, donde se debería interceptar al miembro Cutral Co, a la misma profundidad que se interceptó el grupo Precuyo en el pozo FCs.x-1002.

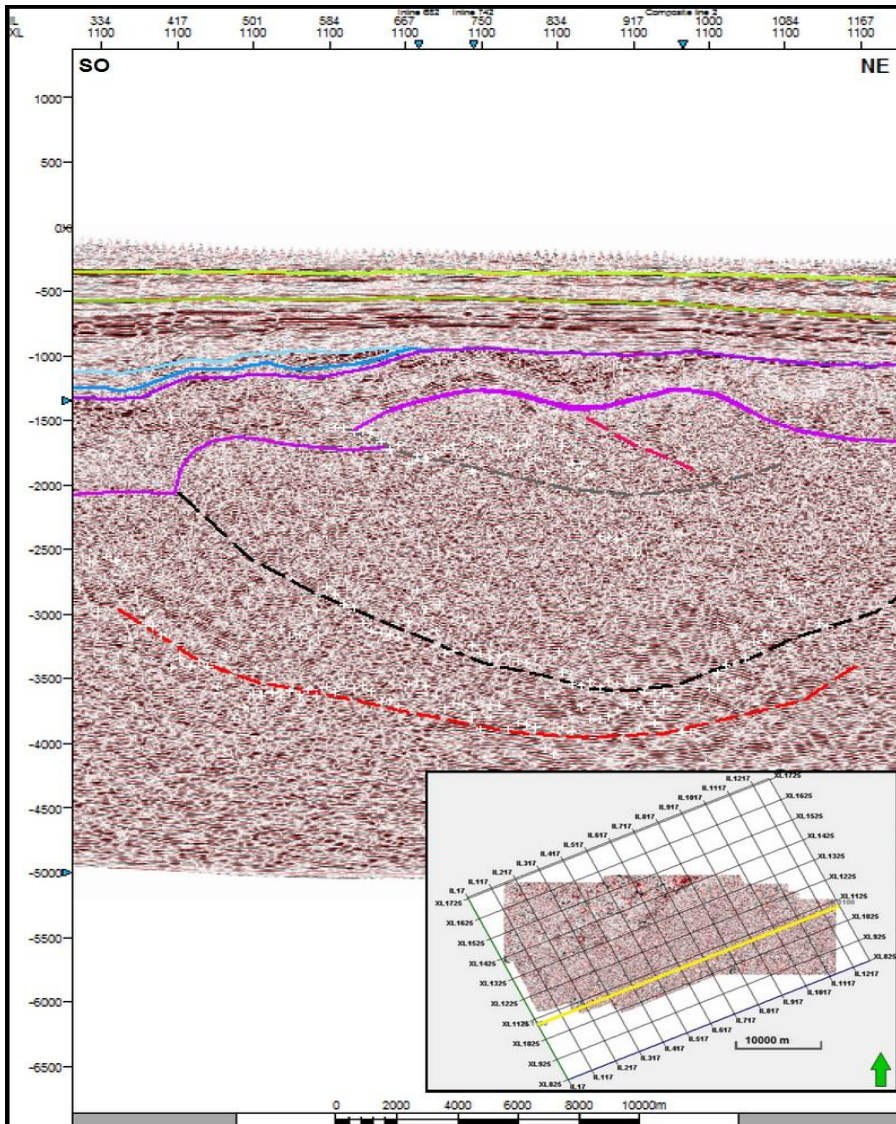


Figura 36: Acuñaamiento de los sedimentos basales de la formación Molles sobre el grupo Pre-Cuyo.

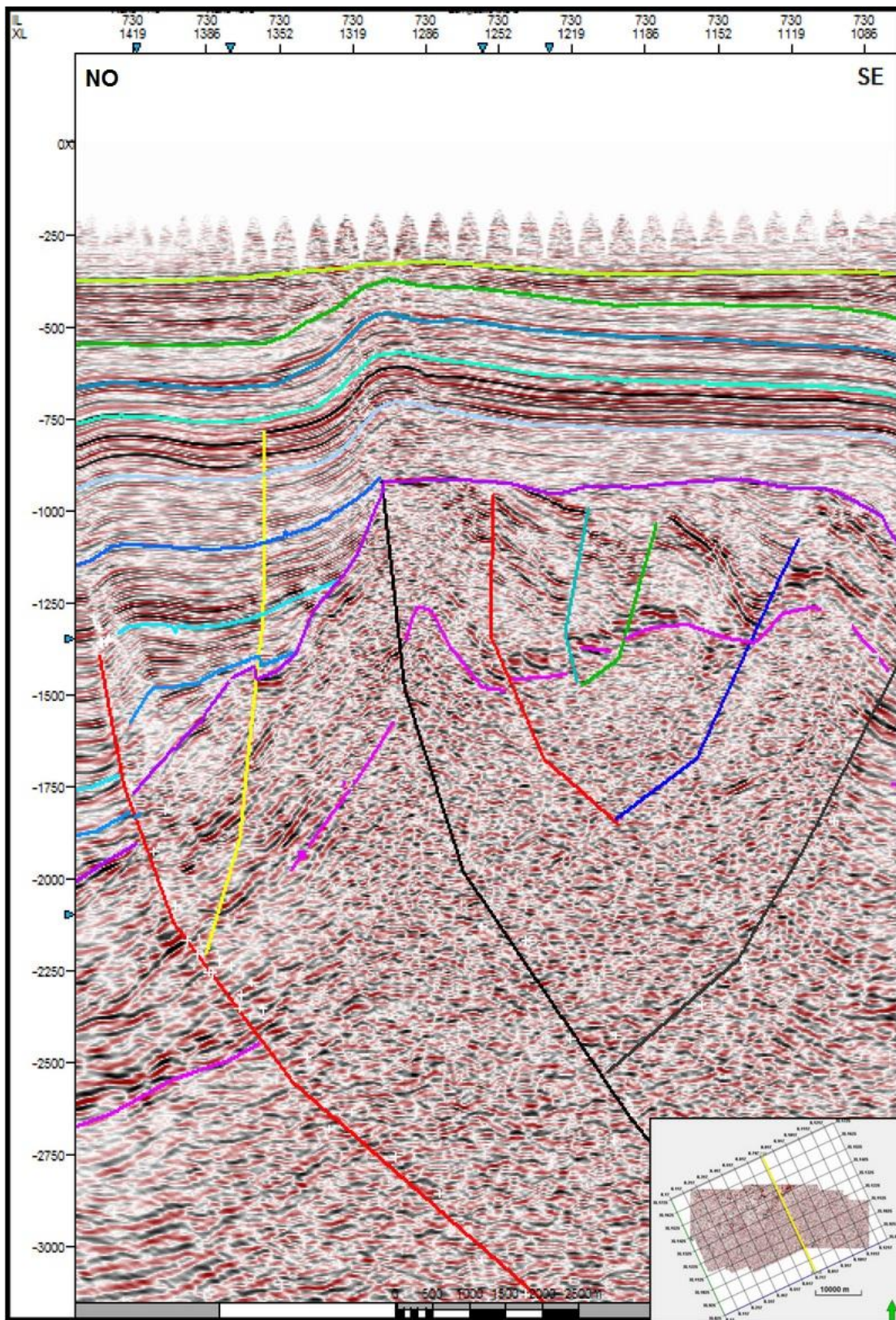


Figura 37: Colapso crestal. Cambios bruscos de coloridad y actitud en los reflectores del grupo Precuyo, interpretado como fallas normales.

● Fases de deformación

Para poder explicar la generación de las estructuras interpretadas se han determinado cuatro fases, siendo:

Fase Molles Media-Superior (comienza en el miembro Cutral Co y culmina en el miembro Pelítico Superior)

- *Cutral Co*: A partir de la relación en *on-lap* de sus reflectores basales, contra los reflectores superiores del miembro Pelítico inferior (Fig. 17 y Fig. 28), se concluye que en el momento de la depositación, del miembro homónimo a la fase, comienzan los movimientos que dan origen a la estructuración del bloque.
- *Fase Pelítico superior*: A partir la presencia de sus estratos de crecimiento (Fig. 29 – Fig. 31), se logra concluir que los movimientos han permanecido pero con menor magnitud, durante y hasta la depositación del miembro equivalente a la denominación de la fase.

Fase Challacó: Se interpreta a partir de la disposición en *on-lap* de sus reflectores basales con el techo de la formación Lajas, lo cual permite concluir en una reactivación del esfuerzo regional (Fig. 20).

Fase Quintuco Superior: Está claramente determinada por el arreglo de los reflectores sobre las crestas de los pliegues formando estratos de crecimiento, mostrando *on-laps* y acuñamientos (Fig. 33).

Estas relaciones estratales permiten proporcionar una edad relativa a las fallas que generan los plegamientos, determinándose un período Cretácico temprano, con una edad Barremiano - Valanginiano.

Fase grupo Neuquén: Esta fase está dada por una gran erosión que produce un aplanamiento del relieve, lo cual ha generado una terminación estratal truncada de los reflectores correspondientes a la formación Vaca Muerta contra el grupo Neuquén (en el bloque de Puesto Billar), la formación Lajas también contra el grupo Neuquén (en el bloque Puesto Touquet) y la formación Quintuco Superior contra la formación Centenario (en la Fosa de Challacó).

● Esquema Estructural Octógono Fiscal – Puesto Touquet

A partir del estudio de los bloques adyacentes al área de Puesto Touquet, se halló un trabajo, referido al Octógono Fiscal (Diego Velo *et al.*, 2014), ubicado exactamente al NO de nuestro bloque (Fig. 7), en donde se expresa un modelo

estructural similar al que refiere este trabajo, agregando y explicando la presencia de la Falla Divisadero. El bloque de Puesto Touquet se encuentra en un hemigraben cuya falla maestra inclina al SE (Fig. 38).

Continuando este razonamiento, se interpreta que la estructuración del bloque, se generó partir de un empuje regional principal (σ_1) proveniente desde el noroeste, lo cual da como resultado el pliegue por propagación de la falla que se observa en la sísmica. En el proceso de inversión, dicha falla maestra no se reactiva pero si lo hace una falla antitética la cual conforma a la falla de Divisadero y también se observan fallas normales invertidas hacia el sureste del corte estructural. La ubicación geográfica de este modelo, se expone sobre la Hoja Geológica de Picún Leufú¹², en su extremo noreste (Fig. 39).

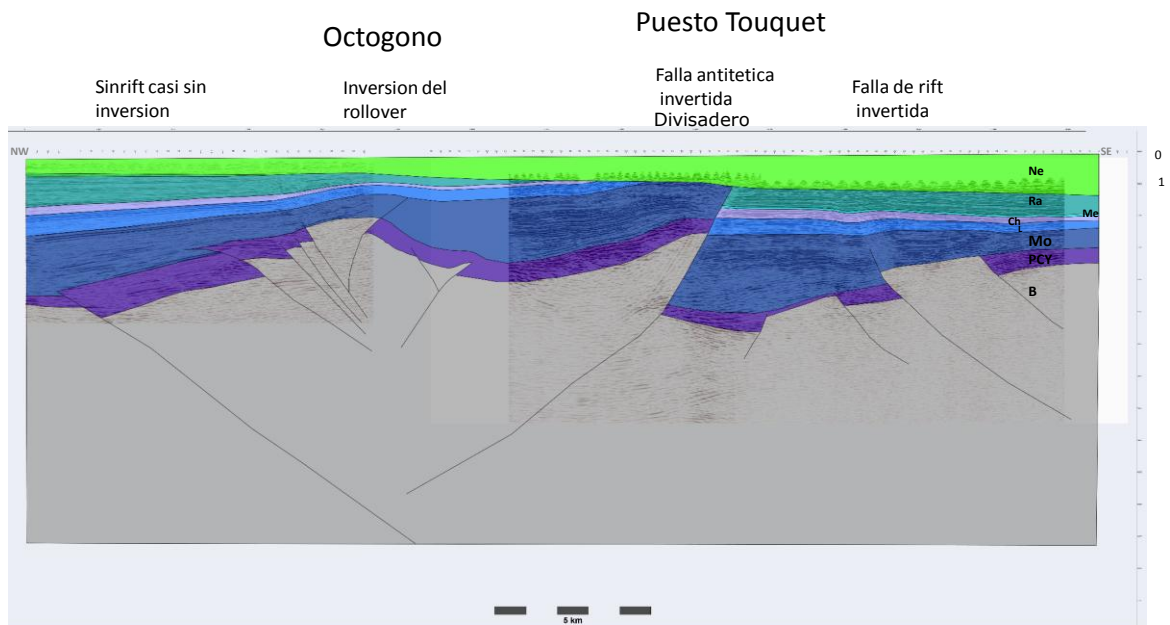


Figura 38: Modelo estructural del Bloque Polígono Fiscal. Basado en datos de sondeo y sísmica 3D, sección en tiempo, escala vertical en segundos. Se caracteriza por la inversión de algunos elementos del rift como el colapso del rollover, antitéticas, etc. Las iniciales representan unidades formacionales: B, Basamento; PCY, grupo Pre-Cuyo; Mo, formación Los Molles; L, formación Lotena; Ch, formación Challacó; Me, grupo Mendoza; Ra, grupo Rayoso; Ne, grupo Neuquén.

¹² La Hoja 3969 – III – Picún Leufú, se extiende entre los paralelos 39° y 40° de latitud Sur y los meridianos 69° y 70° 30' de longitud oeste, con una escala de 1:250000.

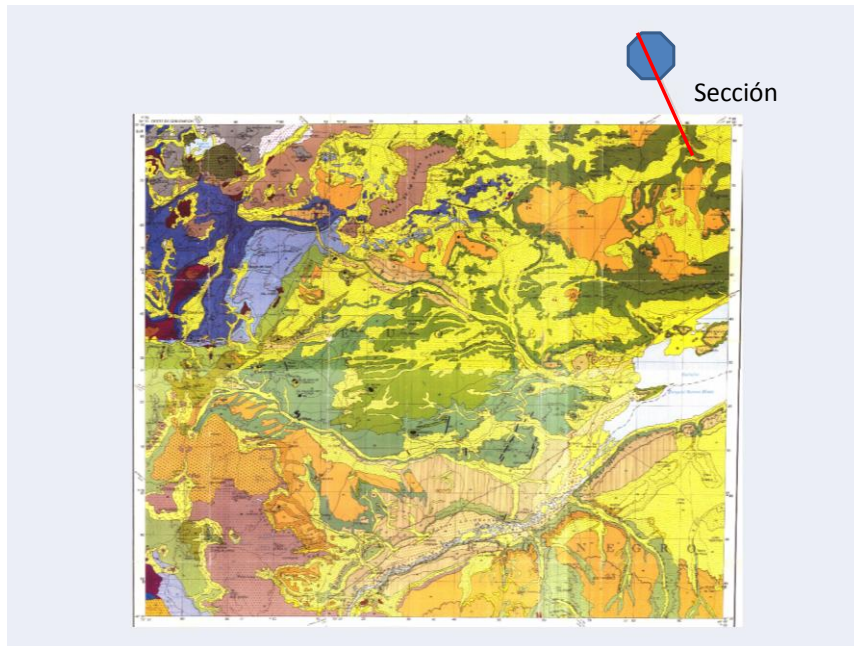


Figura 39: Ubicación geográfica del modelo estructural de la Figura 24 A, sobre la Hoja Geológica de Picún Leufú.

4 – Conclusiones generales

La conjunción de las diversas fuentes tomadas como información inicial, lleva a determinar evidencias que muestran momentos de perturbación estructural en el área objeto de estudio.

Al relacionar las interpretaciones del bloque Octógono Fiscal y las secciones sísmicas según su estructuración y terminaciones estratales, halladas en el área de estudio, se obtienen las siguientes consideraciones finales:

- Las fallas maestras que se observan en el bloque bajo (respecto de la falla Divisadero), se generaron durante el período Pm-Tr, como fallas normales producto de esfuerzos de rift, que posteriormente sufrieron un proceso de inversión positiva a partir de la instalación de la zona de subducción en el margen pacífico de Gondwana.
- La falla inversa que genera la división de los bloques, llamada Falla Divisadero, es una falla antitética que despega de una falla normal profunda, observada en la interpretación del Octógono Fiscal (Fig. 38), ubicado inmediatamente al NO de nuestro bloque (Fig.7)

La falla Divisadero fue generada como resultado de varias etapas de reactivación. Comenzó su despegue durante el Pliensbachiano superior, durante la depositación del miembro Cutral Co, continuó su cinemática pero con menor tenor de propagación, hasta la depositación completa del grupo Cuyo, luego ocurre una primera reactivación, generando una discordancia con la formación Challacó y finalmente se vuelve a reactivar para el período Valanginiano - Barremiano, correspondiente al Cretácico inferior, durante la depositación de la formación Quintuco superior.

● Síntesis de los procesos formulados

Al aplicar la ley de superposición de estratos¹³, junto con los principios fundamentales de horizontalidad original¹⁴ y de intersección¹⁵, a lo expuesto en el desarrollo del trabajo, se propone la siguiente sucesión de eventos.

Durante el período permo-triásico se deposita la formación Huefchulafquen, durante un régimen de rift y sobre esta, se depositan rocas volcanoclásticas correspondientes al grupo Precuyo.

Una gran representatividad de este basamento, lo observamos al sureste del cubo, en donde evidenciamos una estructuración que solo afecta a dicho basamento. Allí se observa la inversión de un colapso crestal, debido a que durante la formación de estos depósitos ígneos los esfuerzos predominantes eran de rift y luego se han invertido¹⁶, generando el alto de basamento que se observa en las respuestas sísmicas. La edad relativa de dicha inversión se formula entre los primeros esfuerzos compresivos y la depositación basal del grupo Cuyo, pudiendo estimarse entre el Sinemuriano y el Plienbachiano correspondientes al Jurásico inferior.

Sobre los depósitos pre-cuyanos se hace evidente un contacto discordante con los depósitos basales de la formación Los Molles.

Luego de la depositación pelítica, se depositan areniscas correspondientes al miembro Cutral Co, con la particularidad de presentar terminaciones estratales que dan el indicio de la presencia de movimientos compresionales en la zona.

¹³ Nicolaus Steno, (1638 – 1686), estableció que en una secuencia no deformada de rocas sedimentarias cada estrato es más antiguo que el que tiene por encima y más joven que el que tiene por debajo.

¹⁴ Nicolaus Steno, (1638 – 1686), las capas de sedimento se depositan en general en una posición horizontal.

¹⁵ Cualquier proceso geológico es posterior a los materiales que afecta y anterior a los procesos que no han sido afectados por él.

¹⁶ Debido a un comportamiento mecánico diferente relacionado a la subducción en el margen Pacífico de Gondwana.

Por encima de esta, se deposita otra ingresión pelítica, correspondiente al miembro Pelítico Superior, donde se encuentran estratos de crecimiento, de los cuales se interpreta que se formaron para alcanzar al relieve estructural. Este relieve fue producto de la generación de dos fallas, una de rumbo NE e inclinación al NO (falla inversa) y otra de igual rumbo pero con una inclinación opuesta, es decir, al SE (falla normal invertida).

A la falla inversa se le otorga una edad de generación Pliensbachiana superior con una disminución, en el tiempo, de propagación. Luego, se comprueba una reactivación y consecuente propagación para el Mioceno, debido a que atraviesa al grupo Neuquén, aflorando esta, en la superficie del terreno.

Posterior a la depositación de la formación Los Molles, ocurre la depositación de la formación Lajas, la cual muestra una discordancia en su techo, con los depósitos suprayacentes de la formación Challacó. Esta discordancia se observa tanto en el bloque bajo, como así también en el bloque alto, respecto a la falla Divisadero, en el cubo de información sísmica. En el bloque bajo, se presenta a partir de una truncación de sus reflectores superiores contra los basales de la formación de Challacó¹⁷. En cambio en el bloque alto, se puede observar una relación de *on-lap* entre los mismos reflectores que se observan truncados en el bloque bajo.

Luego de la depositación de la formación Lajas, cesó el plegamiento por un lapso de tiempo, que correspondió a la depositación de las formaciones Challacó, Tordillo, Vaca Muerta, Quintuco inferior y Quintuco Superior, es por eso el cambio de inclinación y el *on-lap* contra el techo de la formación Lajas. Y la consecuente concordancia de los cuerpos sucesivos, hasta la discordancia angular en el techo de Quintuco superior, donde hubo una nueva reactivación de la falla Divisadero, que provocó su propagación y su consecuente aspecto actual.

Por encima de la formación Challacó se presenta según los registros de perforación, las formaciones Tordillo, Vaca Muerta y Quintuco inferior. Todo este paquete sedimentario se presenta de manera concordante y con una disposición paralela entre sí.

Hacia el techo de este paquete sedimentario, se halla la formación Quintuco Superior, también dispuesta de manera concordante y paralela a la columna subyacente. Sin embargo está constituida por variaciones en su espesor, con reflectores dispuestos en *on-lap* sobre su mismo cuerpo. A su vez, sus reflectores superiores están truncados contra la base de la formación Centenario los que se encuentran junto con sedimentos del grupo Neuquén por encima de ella, se evidencia así una clara discordancia regional.

El paquete sedimentario subyacente a la discordancia regional, se muestra plegado hacia el NO del cubo, continuando la actitud de los reflectores hallados al otro lado de la falla Divisadero, indicando que ellos también han sido afectados por el plegamiento de dicha falla antitética que generó el pliegue Anticlinal California.

Toda esa columna sedimentaria se encuentra afectada por plegamientos amplificados a lo largo del bloque bajo, generados por la presencia de fallas

¹⁷ El trabajo no cuenta con esta imagen, pero si se certifica la existencia de dicha discordancia.

profundas. Estas fallas profundas, fueron generadas durante los esfuerzos de rift permo-triásicos, y han sufrido reactivaciones de variable intensidad a lo largo de la historia depositacional del área. A partir de las relaciones estratales de las formaciones depositadas, se puede afirmar que durante el pliensbachiano superior comenzó su inversión, la cual continuó, hasta la depositación completa de la formación Lajas, en donde observamos truncación y relaciones en *on-lap* con la formación Challacó.

Respecto a la relación de reflectores truncados entre la formación Quintuco y la formación Centenario se certifica una erosión sobre el paquete sedimentario subyacente.

Debido a la variación de espesor y las terminaciones en *on-lap* en la formación Quintuco superior, le otorgamos a la falla, una edad de reactivación, relativa, Barremiano – Valanginiano.

5 - Propuesta

Teniendo en cuenta los indicios de Hidrocarburos en el grupo Precuyo en la perforación de Pozo PTu.x-1 y en las posibilidades de objetivo del Pozo FCh.x-1, se propone una perforación en la cresta del basamento, hacia el sector SE del cubo de información, a partir de la hipótesis de colapso crestal invertido, basada en el aspecto que presenta en la secciones sísmicas. Pudiendo alojarse los hidrocarburos en las fracturas de las vulcanitas pertenecientes al grupo Precuyo.

A su vez, se evidencian indicios de la generación de trampas estratigráficas en el acuífero del miembro Cutral Co a ambos lados del alto de basamento precuyano, teniendo en cuenta que se aloja entre dos rocas pelíticas como lo son los otros dos miembros de la formación Los Molles, también hacia el sector SE del cubo sísmico. El Pozo FcS.x-1002 tuvo como objetivo, punzar en la parte alta de la trampa estratigráfica, pero no logró atravesar a la formación Los Molles, ya que según el registro del pozo, la formación Lajas está subyaciendo a Precuyo, de manera directa.

6 - Bibliografía

ARREGUI Carlos; Carbone O. y Leanza H. A. (2011). *Contexto tectosedimentario*. Relatorio del XVIII congreso Geológico Argentino, Neuquén.

BETTINI Fernando Héctor. (2011). *Cerro Lotena y Cerro Granito. Mega afloramiento de la dorsal del Neuquén, un caso de estudio*. XVIII Congreso Geológico Argentino, Mayo 2011, Neuquén.

CEVALLOS M. F. (2005). *Análisis estratigráfico de alta frecuencia del kimmeridgiano-tithoniano en el subsuelo de la dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina*, VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata.

CEVALLOS Martín F. (2011). *Rasgos transcurrentes de la Dorsal de Huincul*. XVIII Congreso Geológico Argentino, Mayo 2011, Neuquén.

COMINGUEZ Alberto H. & Franzese Juan R. (2005). *The deep seismic structure of the central Neuquén Basin, Argentina*. 6th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2005, Barcelona), Extended Abstracts: 178-181.

FOLGUERA A. y Ramos V.A. (2002). *Los efectos producidos por la aproximación, colisión y subducción de dorsales pacíficas en los Andes Patagónicos*. Acta Geológica Hispánica, v. 37 (2002), nº 4, p. 329-353.

FRANZESE, J. R. y Spalletti, L. A. (2001). *Late Triassic–early Jurassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting*. Journal of South American Earth Sciences 14: 257–270.

FRANZESE Juan, Pereira Martín y Vergani Gustavo. (2011). *Aspectos estructurales de la intersección de la dorsal de huincul con la faja andina, cuenca neuquina, Argentina*. XVIII Congreso Geológico Argentino, Mayo 2011, Neuquén.

GULISANO C.; Gutiérrez Pleimling A. y otros. (2011). *Modelo estratigráfico secuencial del grupo Cuyo en la dorsal de Huincul, cuenca neuquina, Argentina*. XVIII Congreso Geológico Argentino, Mayo 2011, Neuquén.

HYUNG JOO Kim, Martín Mallea, Raúl Gutiérrez, Patricio Malone. (2014). *Exploración del Grupo Cuyo (Jurásico) en bloques maduros de la dorsal de huincul – Puesto Touquet y El Porvenir, Cuenca Neuquina*. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mendoza, Argentina.

IGLESIA LLANOS, María Paula. (2009). *Estudio paleomagnético del jurásico marino de la Cuenca Neuquina: correlación magnetoestratigráfica del Jurásico*

Inferior y una nueva curva de deriva polar aparente para América del Sur. Rev. Asoc. Geol. Argent. v.65 n.2 Buenos Aires oct. 2009.

LOPEZ Sergio y Linari Víctor. (2011). *Evolución estructural y estratigráfica del ciclo cuyano y grupo inferior en los bloques anticlinal campamento, Portezuelo, y Collon Curá; Extremo oeste de la dorsal de Huincul, cuenca neuquina, Argentina.* XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén.

MARIANA ALLO, Federico Mas Cattapan y Sebastián María (2014). *Modelado estático de un yacimiento maduro de gas Puesto Touquet. Cuenca Neuquina. Argentina.* IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mendoza, Argentina.

NAIPAUER Maximiliano, Marques Juliana C., García Morabito Ezequiel, Maisa A. Tunik, Graciela Vujovich, Marcio Pimentel y Victor A. Ramos. (2011). *La Dorsal de Huincul como área fuente en el Jurásico tardío: Edades U-Pb en circones detríticos de la formación Quebrada del Sapo.* XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén.

PANGARO F., Pereira D. y Micuchi E. (2009). *El sinrift de la dorsal de huincul, cuenca neuquina: Evolución y control sobre la estratigrafía y estructura del área.* Revista de la Asociación Geológica Argentina 65 (2): 265-277 (2009).

PÁNGARO, F., Melli, A.T., Malone, P., Cevallos, M., Soraci, A., Mosquera, A. y Kim, Hyung Joo (2005). *Modelos de entrapamiento de la dorsal de Huincul, Cuenca Neuquina, Argentina.* Simposio Trampas de Hidrocarburos de las Cuencas Productivas de la República Argentina. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.

PEREIRA Diego Martín y Pángaro Francisco. (2011). *Observaciones geológicas en el ámbito occidental de la dorsal de Huincul, estratigrafía del syn-rift Triásico-Jurásico y su evolución estructural, cuenca neuquina, Argentina.* XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén.

PONCE J.J., Montagna A.O., Carmona N. (Editores). (2015). *Geología de la Cuenca Neuquina y sus sistemas petroleros.* Fundación YPF y Universidad Nacional de Río Negro. Neuquén.

RAMOS Miguel, E. Orts Darío, Fennell Lucas, Folguera Andrés, Ramos Víctor A., (2012). *Evolución tectónica de la cuenca de Collón Cura: La prolongación de la cuenca de Cura Mallín sobre la vertiente oriental andina.* Congreso; XIII Congreso Geológico Chileno.

RAMOS Victor A., Mosquera Alfonso, Folguera Andrés, García Morabito Ezequiel. (2011). *Evolución tectónica de los andes y del engofamiento neuquino adyacente.* Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén.

ROJAS Vera Emilio; Folguera Andrés. (2009). *Evolución tectónica de la fosa de Loncopué: Estructura del depocentro cuaternario del Huecú y su relación con la sedimentación y el volcanismo*. Revista asociación geológica argentina versión On-line ISSN 1851-8249. v.64 n.2 Buenos Aires abr. 2009

SCHIUMA M. y Llambías E. J. (2008). *New ages and chemical analysis on lower jurassic volcanism closet o the dorsal de Huincul, Neuquen*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 63 (4): 644 - 652 (2008).

SCHLUMBERGER. "The Oilfield Glossary". (Online) <http://www.glossary.oilfield.slb.com/>. Julio 4, 2017.

SILVESTRO, J y Zubiri, M. (2008). *Convergencia oblicua: modelo estructural alternativo para la dorsal Neuquina (39°S), Neuquén*. Revista Asociación Geológica Argentina 63: 49-64.

VELO Diego, Manceda René, Pioli Oscar, Mallaviabarrena Mario, Creus Fernando, Ugarte Rodrigo, Narrillos Diego, Ciancio Lucía. (2014). *Caracterización del reservorio en el basamento cristalino de la cuenca neuquina. Productividad record desde rocas granitoides, caso del octógono fiscal, activo Plaza Huincul-Cutral Có*. IX Congreso de exploración y desarrollo de hidrocarburos. Mendoza, Argentina.

VILLAR Héctor. J., Legarreta Leonardo y otros. 2005. *Los cinco sistemas petroleros coexistentes en el sector sudeste de la cuenca neuquina: Definición geoquímica y comparación a lo largo de una transecta de 150km*. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata, Noviembre 2005, IAPG. CD-ROM, 17 p.; Boletín de Informaciones Petroleras BIP, Cuarta Época Año 2 N° 3, 50-67.